SYMOPIS 2017

XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima

Zlatibor, 25 - 28. septembar, 2017.

ZBORNIK RADOVA

ВИСОКА ГРАЂЕВИНСКО - ГЕОДЕТСКА ШКОЛА - БЕОГРАД

Most, Brđani

Most, Predejane

Beograd na vodi

Termoelektrana Stanari, Bosna i Hercegovina

Gradite uspešno sa firmom PERI

Ekonomični sistemi oplata i skela za sve vrste betonskih radova

ISBN 978-86-7488-135-4

PERI oplate d.o.o.
Oplate Skele Inženjering
Zmaja Ognjenog Vuka 2
22310 Šimanovci, Srbija
Tel. +381 (0)22 408 200
Fax +381 (0)22 408 250
office @peri.rs
www.peri.rs

XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima
www.symopis.vggs.rs

SYM-OP-IS 2017

Zlatibor, hotel „Palisad“
25. – 28. septembar 2017. godine

ZBORNIK RADOVA

Editor:

Prof. dr Goran Ćirović

ZBORNIK RADOVA SYM-OP-IS 2017

Izdavač:
Visoka građevinsko-geodetska škola

Za izdavača:
Prof. dr Vule Aleksić, dipl. mat.

Editor:
Prof. dr Goran Ćirović, dipl. građ. inž.

Tehnički urednik:
Marko Vuković, dipl. građ. inž.

Idejno rešenje korica:
Marko Vuković, dipl. građ. inž.

Štampa:
Planeta print

Godina:
2017

Tiraž:
70

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

519.8(082)(0.034.2)

СИМПОЗИЈУМ о операционим истраживањима (44 ; 2017 ; Златибор)
Zbornik radova [Elektronski izvor] / XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2017, Zlatibor 25.-28. septembar 2017. godine ; [organizatori Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd ... et al.] ; editor Goran Ćirović. - Beograd : Visoka građevinsko-geodetska škola, 2017 (Beograd : Planeta print). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Predgovor / Goran Ćirović. - Tiraž 70. - Napomene i bibliografske reference uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-7488-135-4
a) Операциона истраживања - Зборници
COBISS.SR-ID 244711948

ORGANIZATORI

Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd
Izvršni organizator SYM-OP-IS-a 2017

Društvo operacionih istraživača

Institut "Mihajlo Pupin",
Beograd

Saobraćajni fakultet,
Beograd

Ekonomski fakultet,
Beograd

Matematički fakultet,
Beograd

Ministarstvo odbrane
Republike Srbije

Ekonomski institut,
Beograd

Matematički institut SANU,
Beograd

Vojska Srbije

Fakultet organizacionih
nauka, Beograd

Rudarsko-geološki fakultet,
Beograd

Univerzitet u Banjoj Luci

PROGRAMSKI ODBOR

Ćirović Goran, predsednik, VGGŠ, Beograd
Aleksić Vule, VGGŠ, Beograd
Vidović Milorad, SF, Beograd
Vujić Slobodan, RI, Beograd
Vujošević Mirko, FON, Beograd
Vukadinović Katarina, SF, Beograd
Davidović Tatjana, MISANU, Beograd
Dimitrijević Branka, SF, Beograd
Dugošija Đorđe, Univerzitet u Novom Pazaru
Đorović Boban, UO, Beograd
Ilić Aleksandar, MO, Beograd
Kovačević-Vujčić Vera, FON, Beograd
Kočović Jelena, EF, Beograd
Kratica Jozef, MISANU, Beograd
Kuzmanović Marija, FON, Beograd
Kutlača Đuro, IMP, Beograd
Letić Duško, FTN, Zrenjanin
Makajić-Nikolić Dragana, FON, Beograd
Martić Milan, FON, Beograd
Mesaroš Katalin, EF, Subotica
Milovanović Gradimir, MISANU, Beograd
Miljanović Igor, RGF, Beograd
Mladenović Zorica, EF, Beograd
Mladenović Nenad, MISANU, Beograd
Netjasov Feđa, SF, Beograd
Ognjanović Zoran, MISANU, Beograd
Pap Endre, Univerzitet Singidunum, Beograd
Petrović Dalibor, MO, Beograd
Petrović Slavica, EF, Kragujevac
Praštalo Željko, RF, Beograd
Preradović Ljubiša, AGGF, Banja Luka
Radojević Dragan, IMP, Beograd
Savić Gordana, FON, Beograd
Sorak Miloš, TF, Banja Luka
Stanić Stanko, EF, Banja Luka
Stanojević Milan, FON, Beograd
Stanojević Milorad, SF, Beograd
Starčević Dušan, FON, Beograd
Stojković Dejan, MO, Beograd
Suknović Milija, FON, Beograd
Teodorović Dušan, SF, Beograd
Urošević Dragan, MISANU, Beograd
Cvetković Dragoš, MISANU, Beograd
Cvijanović Janko, EI, Beograd
Čangalović Mirjana, FON, Beograd
Šelmić Milica, SF, Beograd
Aloise Daniel, NU, Brazil
Artiba Abdelhakim, UV, France
Brimberg Jack, RMC, Kingston, Canada
Caporossi Gilles, HEC Montreal, Canada
Carrizosa Emilio, US, Spain
Crainic Teodor G., UQ, Montreal, Canada
Duarte Abraham, URJC, Spain
Eremeev Anton, OSU, Russia
Escudero Laureano, UMH, Spain
Golden Bruce, UM, USA
Hanafi Saïd, UV, France
Hansen Pierre, GERAD, Montréal, Canada
Kochetov Yuri, Novosibirsk, Russia
Labbé Martine, FUB, Belgium
Melián Batista Belén, ULL, Spain
Migdalas Athanasios, AUT, Greece
Moreno-Perez José A., ULL, Spain
Papageorgiou Markos, TUC, Greece
Pardalos Panagote M., UF, USA
Raidl Guinter, VUT, Austria
Salhi Said, UK, UK
Sevaux Marc, USB, France
Sifaleras Angelo, UM, Greece
Sörensen Kenneth, UA, Belgium
Zhao Bejing Qiuhong, UAA, China
Sorak Miloš, MF, Banja Luka
Stanić Stanko, EF, Banja Luka
Stanojević Milorad, SF, Beograd
Starčević Dušan, FON, Beograd
Suknović Milija, FON, Beograd
Teodorović Dušan, SF, Beograd, dopisni clan SANU
Todorović Jovan, AINS, Beograd
Urošević Dragan, MI Beograd
Vidović Milorad, SF, Beograd
Vujić Slobodan, RGF, Beograd
Vujošević Mirko, FON, Beograd
Vukadinović Katarina, SF, Beograd
Vuleta Jovo, EF, Beograd

POČASNI PROGRAMSKI ODBOR

Andrejić Marko, VA, Beograd
Batanović Vladan, IMP, Beograd
Backović Marko, EF, Beograd
Borović Siniša, FMMSP, Beograd
Cvetković Dragoš, SANU, Beograd
Čabarkapa Obrad, MO, Beograd
Đorđević Branislav, GF, Beograd
Guberinić Slobodan, IMP, Beograd
Krčevinac Slobodan, FON, Beograd
Kovač Mitar, MO, Beograd
Matejić Vlastimir, AINS, Beograd
Mihaljević Miodrag MI, Beograd
Milovanović Gradimir, SANU, Niš
Mučibabić Spasoje, MO, Beograd
Nikolić Ilija, FGM, Beograd
Opricović Serafim, GF, Beograd
Petrović Radivoj, IMP, AINS, Beograd
Rakić Milan, IMP, Beograd
Todorović Jovan, AINS, Beograd
Vujić Slobodan, RI, Beograd
Vukadinović Svetozar, SF, Beograd
Vuleta Jovo, EF, Beograd
Zečević Tomislav, EF, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR

Mitrović Snežana, VGGŠ, Beograd
Dragan Nikolić, VGGŠ, Beograd
Tomić Slavoljub, VGGŠ, Beograd
Vuković Marko, VGGŠ, Beograd

PREDGOVOR

XLIV SYM-OP-IS 2017 - Simpozijum o operacionim istraživanjima održava se ove godine na Zlatiboru. Čast da bude izvršni organizator ovog skupa pripala je Visokoj građevinsko-geodetskoj školi strukovih studija u Beogradu.

Ove godine simpozijum je međunarodni regionalni.

Dobar pokazatelj je da je veliki broj operacionih istraživača poslao svoje radove i najavio dolazak. Za izlaganje na simpozijumu je prihvaćeno 145 referata i jedno saopštenje. Takođe, karakteristika ovog simpozijuma je, kao i prethodnih, da je prisutan veliki broj mladih operacionih istraživača, iz svih sredina i svih obrazovnih institucija.

U vreme kada se, zbog napredovanja u nauci i struci, sve više vrednuju univerzalno priznati pokazatelji, pre svega autorstvo u radovima u časopisima na SCI listi, to je vredno poštovanja.

Čast nam je i zadovoljstvo da će ovom skupu prisustvovati i 4 pozvana predavača iz inostranstva i zemlje, iz kredibilnih ustanova i sa velikim naučnim i stručnim iskustvom, koji će svojim referatima doprineti kvalitetu i internacionalizaciji simpozijuma.

Programski odbor SYM-OP-IS 2017 je održao dve sednice između dva simpozijuma. Takođe, usvojio je 32 programske oblasti - sekcija, od kojih su posebne teme ove godine Kvantitativni modeli u finansijama i Analitika i optimizacija u javnom sektoru.

Ove godine povelje za zasluge u razvoju operacionih istraživanja u Srbiji dobila su dva operaciona istraživača.

U koncepciji i realizaciji ovog simpozijuma učestvovao je veliki broj eminentnih operacionih istraživača, i izvršni organizator im se na tome zahvaljuje. Zahvaljujemo se i svim autorima, učesnicima, recenzentima, članovima Programskog i Organizacionog odbora. Nadamo se da će ovaj skup doživeti organizacioni, naučni i stručni uspeh.

Zahvaljujemo se i Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na pomoći oko realizacije ovog skupa.

Posebno nam je zadovoljstvo da će u okviru sekcije Građevinarstvo biti prikazana i optimizacija rasporeda oplate u polumontažnom sistemu građenja firme Peri oplate doo, koja je pomogla simpozijum.

Predsednik Programskog odbora

Goran Ćirović

Povelja o zaslužnom članu

dr Đorđe Dugošija
redovni profesor Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Đorđe Dugošija je rođen 8. avgusta 1947. godine u Sremskoj Mitrovici od oca Petra i majke Desanke. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Beogradu. Nosilac je diploma Vuk Stefanović-Karadžić i Mihajlo Petrović-Alas. Kao srednjoškolac osvajao je brojne nagrade na takmičenjima mladih matematičara. Učestvovao je na međunarodnim matematičkim olimpijadama u Berlinu 1965. i Sofiji 1966. godine. Diplomirao je na Grupi za matematiku Prirodno-matematičkog fakulteta u Beogradu 1970. godine sa prosečnom ocenom 9,89. Poslediplomske studije završio je na istom fakultetu 1974. godine odbranom magistarskog rada *Penalti-metode u antagonističkim igrama.* Doktorirao je 1986. godine na Prirodno-matematičkom fakultetu u Beogradu odbranivši doktorsku disertaciju *Prilog teorijama semi-infinitnog i višekriterijumskog programiranja*. Školsku 1973/74 godinu proveo je na specijalizaciji u Institutu za primenjenu matematiku i verovatnoću u Bonu. Tokom 1990. godine gostovao je dva meseca na Mek Gil univerzitetu u Montrealu, a 1996. godine proveo je dva meseca na Univerzitetu u Dortmundu.

Dr Đorđe Dugošija je radio na Matematičkom fakultetu u Beogradu od 1971-2013. godine, prvo kao asistent, zatim kao docent, vanredni profesor i redovni profesor. Na Državnom univerzitetu u Novom Pazaru radio je kao redovni profesor od 2013. do 2015, kada odlazi u penziju. Honorarno je držao nastavu u Matematičkoj gimnaziji i na Alfa univerzitetu u Beogradu. Rukovodio je izradom deset doktorskih i petnaest magistarskih teza, a bio je član komisije za odbranu desetak doktorskih i više magistarskih teza. Rukovodio je izradom velikog broja master radova.

Osim rada u nastavi dr Đorđe Dugošija je imao brojne naučne i stručne aktivnosti. Bio je učesnik na više naučnih projekata koje je koordinirao Matematički institut SANU i redovni je saradnik Seminara za računarstvo i primenjenu matematiku. Član je Društva matematičara Srbije, Jugoslovenskog udruženja za primenjenu i industrijsku matematiku i Društva za operaciona istraživanja. Posebno treba istaći njegovo veliko angažovanje u radu sa mladim matematičarima i nastavnicima preko Društva matematičara Srbije i matematičkog društva Arhimedes. Bez preterivanja se može se reći da je dr Đorđe Dugošija učitelj gotovo svih naših uspešnih mladih matematičara i nastavnika. Osim priprema talentovanih učenika i studenata za razna matematička takmičenja, dr Dugošija je radio i na organizaciji ovih takmičenja. Bio je predsednik Republičke komisije za takmičenja srednjoškolaca, a od 2002. do 2007. godine obavljao je dužnost rukovodioca olimpijske reprezentacije na međunarodnim matematičkim olimpijadama. Organizovao je odlazak studenata na više takmičenja u zemlji i inostranstvu.

Dr Đorđe Dugošija se bavi naučnim radom u oblasti matematičkog programiranja i operacionih istraživanja. Objavio je do sada u naučnim časopisima i zbornicima radova sa naučnih konferencija preko 40 radova, od čega 20 u vodećim međunarodnim časopisima. Koautor je naučne monografije *Kombinatorna optimizacija* u izdanju Društva za operaciona istraživanja i dva poglavlja u istaknutoj monografiji međunarodnog značaja *Applications of Soft Computing* renomiranog izdavača *Springer*. Prema podacima iz indeksnih baza *Google Scholar* radovi dr Đorđa Dugošije citirani su preko 110 puta.

Naučni radovi dr Đorđa Dugošije se mogu grupisati u nekoliko oblasti matematičkog programiranja i operacionih istraživanja. Magistarski rad i 4 rada objavljena u časopisima *Mathematica Balkanica* i *Operations Research Verfahren* u periodu 1974-1979. predstavljaju značajan doprinos teoriji igara. U doktorskoj disertaciji i radovima objavljenim u časopisima *Optimization* i *YUJOR* u periodu 1986-1991. dr Dugošija se bavi teorijskim svojstvima semi-infinitnog programiranja i višekriterijumske optimizacije.

Paralelno sa tim, u periodu 1976-2001. dr Dugošija objavljuje radove iz oblasti nelinearnog i konveksnog programiranja u časopisima *ZAMM*, *Scientific Review* i *Matematički vesnik*, kao i iz oblasti linearnog i celobrojnog programiranja u časopisu *YUJOR*. Posebno su zapaženi i visoko citirani noviji doprinosi dr Đorđa Dugošije i koautora u oblasti primene genetskih algoritama na probleme kombinatorne optimizacije, kao i u oblasti matematičkog modeliranja realnih problema. Rezultati ovih istraživanja objavljeni su u časopisima *EJOR*, *Applied Soft Computing*, *YUJOR*, *COMSIS*, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, *Applied Mathematical Modelling* i u monografiji *Applications of Soft Computing*. Osim radova u naučnim časopisima, dr Dugošija je rezultate svojih istraživanja objavljivao i u zbornicima radova sa naučnih konferencija. Učestvovao je sa radom na 25 naučnih skupova u zemlji i inostranstvu. Redovni je učesnik SIM-OP-IS-a, sa radovima iz oblasti višekriterijumske optimizacije, linearnog programiranja, matematičkog modeliranja, nelinearnog programiranja, teorije igara, semi-infinitnog programiranja i diskretne optimizacije.

U svom pedagoškom radu dr Đorđe Dugošija je krčio put novih disciplina primenjene matematike na Matematičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu: operacionih istraživanja i teorije igara. Držao je univerzitetsku nastavu iz predmeta *Matematičko programiranje, Teorija igara, Operaciona istraživanja*, *Biostatistika, Diskretne strukture*, *Algebra*, *Kombinatorika*, *Matematika I* i *II*. Držao je i specijalne kurseve *Višekriterijumska optimizacija* i *Teorija iga*ra na Matematičkom fakultetu u Beogradu i *Matematičko programiranje* na Univerzitetu u Dortmundu. Autor je univerzitetskih udžbenika *Linearno programiranje* (2010), *Viša matematika u devet lekcija* (2010) i *Fundamenti matematike* (2013), sva tri u izdanju Zavoda za udžbenike iz Beograda. Objavio je 8 udžbenika matematike za učenike osnovnih i srednjih škola, kao i 23 zbirke zadataka, koje uključuju pripremne zadatke za matematička takmičenja.

Dr Đorđe Dugošija je dugogodišnji član Programskog odbora SIM-OP-IS-a i koordinator sekcija Matematičko programiranje i Kombinatorna optimizacija. Bio je predsedavajući Programskog odbora XXX SIM-OP-IS-a održanog u Herceg Novom 2003. godine. Kao član uređivačkog odbora časopisa *Yugoslav Journal of Operations Research (YUJOR)* dao je veliki doprinos njegovom razvoju i međunarodnoj afirmaciji.

prof. dr Vera Kovačević-Vujčić

prof.dr Mirjana Čangalović

akademik Dragoš Cvetković

Povelja o zaslužnom članu

Prof. dr Goran Ćirović

Dr Goran Ćirović, profesor visoke građevinsko-geodetske škole u Beogradu je redovni profesor i naučni savetnik. Gostujući je profesor Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu. Redovni je profesor Arhitektonsko-građevinsko-geodetskog fakulteta Univerziteta u Banja Luci. Između ostalih, predaje nastavne predmete Operaciona istraživanja, Teorija planiranja i Modeliranje procesa u građevinarstvu.

U okviru Biblioteke operaciona istraživanja i informacioni sistemi, Društvo operacionih istraživača mu je 2005. godine izdalo knjigu „Grubi skupovi - primena u građevinarstvu".

Autor je monografije „Reinženjering poslovnih procesa u građevinarstvu", 1999.

Recenzent je međunarodnih časopisa European Journal of Operational Research, Expert Systems With Applications, Neural Computing and Applications, United Nations Sustainable Development Journal, Construction Management and Economics, International Journal of Electronic Business, i International Journal of Internet and Enterprise Management, kao i domaćih časopisa i zbornika radova međunarodnih i domaćih simpozijuma. Osim naučnih, autor je ili recenzent radova u stručnim časopisima koji popularišu metode odlučivanja u svakodnevnoj građevinskoj praksi. Recenzent je tehnoloških projekata za oblast građevinarstva finansiranih od Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije.

Predavač je na stručnim seminarima iz oblasti upravljanja projektima i investicijama, planiranja i realizacije projekata.

Dao je naučni doprinos u primeni, odnosno inženjerskim optimizacijama u građevinarstvu. Izdao je 8 univerzitetskih udžbenika. Bio je mentor na 8 doktorskih disertacija i 8 magistarskih teza iz oblasti operacionih istraživanja.

Trenutno učestvuje na projektu tehnološkog razvoja Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije, vodi podprojekat „Primena inteligentnih tehnika i Soft Computng-a za analizu mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima".

Kao konsultant Evropske investicione banke i rukovodilac projekta i kao nezavisni ekspert Ministarstva pravde 2012. godine dao je doprinos izradi strategije i optimalnih procedura i planova za realizaciju planskih i projektnih dokumenata po kriterijumima cene, roka i kvaliteta.

Rukovodio je projektima upravljanja radovima za realizaciju preko 50 objekata. Izradio je studije opravdanosti za preko 10 kapitalnih objekata.

Dr Goran Ćirović sa naučnim radovima na SIM-OP-IS-u učestvuje od 1986. godine. Autor je ili koautor velikog broj radova. Od 2006. godine je član Programskog odbora i rukovodilac sekcije Građevinarstvo. Bio je predsednik Programskog odbora XXXIX SYM-OP-IS 2012 i glavni urednik Zbornika radova. Trenutno je predsednika Programskog odbora XLIV SIM-OP-IS 2017.

Predsednik je međunarodnog Kongresa Sport Facilities i glavni urednik zbornika radova SPOFA 2009: „Current Trends and Perspectives", SPOFA 2011: „Standardizations and Trends", SPOFA 2014: „Sports Facilities - Crisis and Consequences". SPOFA 2016: „Modernization and Construction".

Učestvovao je sa radovima na više međunarodnih konferencija koji se odnose na operaciona istraživanja (BALKOR, EUROFUSE, …).

Naučno-istraživački rad dr Gorana Ćirovića usmeren je istraživanje mogućnosti primene i poboljšanja savremenih metoda operacionih istraživanja, odnosno inženjerskih optimizacija, a pre svega metoda veštačke inteligencije u oblasti menadžmenata u građevinarstvu i tehnologiji građenja. Analizirao je i modelirao više desetina problema u raznim oblastima građevinarstva primenom rasplinutih skupova, grubih skupova, veštačkih neuralnih mreža, genetskih algoritama, kuku pretrage, kao i hibridnih metoda koje se zasnivaju na pomenutim tehnikama operacionih istraživanja. U više originalnih naučnih radova analizirao je uticaj izbora optimalnog rasporeda oplate u polumontažnom sistemu građenja na cenu izgradnje prefabrikovanih objekata. Analizirao je suštinsko opredeljenje pri donošenju odluke, da li pristupiti izvođenju objekta pomoću predmetne prenosne oplate, odnosno da li je konkretna osnova primenljiva ili nije. Pri tome je formulisao i

kriterijumi za procenu kvaliteta rešenja što je prihvaćeno kao značajan naučni doprinos u ovoj oblasti.

Bavio se i optimalnim izborom lokacije za izgradnju građevinskih postrojenja. Takođe, bavio se i optimizacijama mrežnog plana po roku, troškovima, kao i kvalitetu, što podrazumeva optimizaciju strukture mrežnog plana, shodno izabranoj tehnologiji građenja. Postignuti i objavljeni rezultati analiziranja modela podrške pri odlučivanju za utvrđivanje prioriteta na pružnim prelazima sa aspekta bezbednosti primenom adaptivnih neuro-fazi sistema, optimizacije grednih nosača od betona ultra visokih čvrstoća primenom genetskih algoritama i primene grubih skupova u tretiranju neizvesnih i nepreciznih događaja predstavljaju značajan doprinos u užoj naučnoj oblasti menadžmenta u građevinarstvu, što je i potvrđeno objavljivanjem 20 radova u priznatim međunarodnim naučnim časopisima sa SCI liste. U priznatim časopisima je citiran 70 puta, bez autocitata.

Izuzetan doprinos je dao i u formiranju naučnog podmlatka, i sada već formiranih istraživača sa priznatim naučnim referencama. Do sada je učestvovao u pet naučno-istraživačkih projekata, jednom tehnološkom projektu i pet strateških projekata, koje je finansiralo Ministarstvo za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, kao i jednom naučno-istraživačkom projektu koje je finansiralo Ministarstvo nauke Crne Gore.

Bio je član ekspertskog tima za izradu Strategije privrednog i industrijskog razvoja Republike Srbije do 2010. godine - sektor: građevinarstvo, kao i član radne grupe za izradu Strateškog plana Nacionalne stambene politike. Od 2003. do 2005. godine bio je član Republičke revizione komisije za stručnu kontrolu tehničke dokumentacije za objekte od značaja za Republiku. Od 2012. do 2016. godine bio je član ove komisije, za reviziju studija opravdanosti.

Član je Inženjerske komore Srbije. Poseduje licencu odgovornog projektanta, kao i licencu odgovornog izvođača radova. Bio je predsednik komisije za stručni ispit građevinske struke za organizaciju i tehnologiju građenja i upravljanje projektima u građenju. Upisan je u Registar stalnih veštaka za oblast građevinarstvo.

Član je redakcionog odbora časopisa YUJOR – Yugoslav Journal of Operational research, od 2010.

Srpska akademija nauka i umetnosti mu je 1992. godine odala priznanje i preporučila ga kao dokazanog stručnjaka u oblasti upravljanja projektima.

Doprineo je razvoju OI u Srbiji, organizovanjem SIM-OP-IS-a, i učešćem u radu SIM-OP-IS-a njega i njegovih koleginica i kolega.

Dr Dragan Radojević, naučni savetnik

prof. dr Radivoj Petrović

prof. dr Slobodan Guberinić

prof. dr Mirko Vujošević

Simpozijum SYM-OP-IS 2017 se održava pod pokroviteljstvom Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Simpozijum SYM-OP-IS 2017 se zahvaljuje kompaniji PERI Srbija.

SADRŽAJ

00. PREDAVAČI PO POZIVU

Valery Kalyagin
National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod, Russia
MARKET NETWORK ANALYSIS: IDENTIFICATION OF NETWORK STRUCTURES IN MARKET NETWORK 2

Miroslav Hudec
University of Economics in Bratislava, Slovakia
LINGUISTIC SUMMARIES FROM THE DATA: ISSUES AND PERSPECTIVES 3

Angelo Sifaleras
University of Macedonia, Thessaloniki, Greece
EXTERIOR POINT SIMPLEX-TYPE ALGORITHMS FOR LINEAR AND NETWORK OPTIMIZATION PROBLEMS 4

Nenad Mladenović
Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia
COMPARATIVE ANALYSIS OF SOME QUALITY FUNCTIONS FOR COMMUNITY DETECTION ON NETWORKS 5

28. ANALITIKA I OPTIMIZACIJA U JAVNOM SEKTORU

Ivana Mijatovic, Rade Lazovic
ANALYZING THE QUALITY IN PUBLIC PROCUREMENT - APPLICATION OF THE QUADRATIC QUALITY LOSS FUNCTIONS 7

Zorica Tanasković, Gordana Milosavljević, Milovan Milivojević, Vesna Vasović
ANN CLASSIFICATOR AS SUPPORT IN STRATEGY FOR FARMERS' EDUCATION 13

Konstantinos Petridis, Evangelos Grigoroudis
A MILP/GP MODEL FOR RENEWABLE ENERGY PRODUCTION FROM BIOMASS POWER PLANTS USING FINANCIAL ANALYSIS: THE CASE OF GREECE 19

Svetlana Jovanović, Mihailo Jovanović
ASSESSMENT OF THE INSTITUTIONAL FRAMEWORK OF E-GOVERNMENT IN THE REPUBLIC OF SERBIA 23

Kristina Pajić, Gordana Savić, Marija Kuzmanović
RESIDENTAL ATTRACTIVENESS OF THE CITIES AND TOWNS 29

Olivera Mihailović, Nevenka Žarkić-Joksimović, Nataša Petrović, Dragana Makajić-Nikolić, Jelena Andreja Radaković
ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFECTIVENES OF INFECTIOUS MEDICAL WASTE DISPOSAL SYSTEM: A CASE STUDY OF THE TERTIARY HEALTH-CARE INSTITUTION 35

29. ANALIZA PERFORMANSI

Lara Stojanović, Gordana Savić
SELEKCIJA KLJUČNIH INDIKATORA PERFORMANSI PRIMENOM KVANTITATIVNIH METODA 42

Milica Maričić
PERFORMANCE ANALYSIS, PREDICTION, AND WEIGHTING COEFFICIENTS ASSIGNMENT: A LITERATURE REVIEW 48

Nela Cvetković, Slobodan Morača, Angela Fajsi
IMPROVEMENT OF SOFTWARE DEVELOPMENT PROJECT PERFORMANCES WITH SCRUMBAN 54

Milica Jovanović, Lena Đorđević, Aleksandra Marinković
UTICAJ INDIKATORA PERFORMANSI TEHNOLOŠKOG MENADŽMENTA NA GLOBALNE INDEKSE ZA RANGIRANJE ZEMALJA 60

2. EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA

Vesna D. Jablanovic
HAOTIČNI MODEL RASTA GINI KOEFICIJENTA 67

Jasna Soldić-Aleksić
SAVREMENI ASPEKTI DIGITALNE EKONOMIJE: UTICAJ FENOMENA BIG DATA 71

Tanja Milić, Veljko Jeremić
PROJEKTOVANJE NOVE KORPORATIVNE KULTURE U CILJU DOSTIZANJA LIDERSKE POZICIJE ORGANIZACIJE U SAVREMENOM POSLOVNOM OKRUŽENJU 76

Jelena Stanojević, Maja Jandrić
NEKI MATEMATIČKI MODELI ZA ODREĐIVANJE RAVNOTEŽE U IS-LM MODELU I ANALIZA REŠENJA 82

Бојан Кресојевић
МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ОЦЈЕНУ ЕФЕКАТА КУПОВИНЕ ДОМАЋИХ ПРОИЗВОДА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ 90

3. ELEKTRONSKO POSLOVANJE

Miloš Spasojević
ANALIZA PRISUTNOSTI I POVEZANOSTI FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU NA DRUŠTVENOJ MREŽI FACEBOOK 98

6. GEOINFORMACIONI SISTEMI

Миодраг Регодић, Љубомир Гиговић, Синиша Дробњак, Рајка Мијатовић
ФОРМАТИ ЗАПИСА ДИГИТАЛНИХ СНИМАКА 104

Синиша Дробњак, Љуботир Гиговић, Драгољуб Секуловић, Ненад Гаљак
ОЦЕНА ПОТПУНОСТИ ДИГИТАЛНЕ ТОПОГРАФСКЕ КАРТЕ РАЗМЕРЕ 1:25 000 110

Ljubomir Gigović, Miodrag Regodić, Siniša Drobnjak
PRIMENA GIS MODELA U IZRADI MAPE HAZARDA OD POPLAVA 116

Gorana Todorić, Dejan Vasić, Dragoljub Sekulović
TEHNIKA VLBI – OSNOVE, STATUS I CILJEVI 122

Aleksandar Ilić, Zoran Srdić, Slaviša Tatomirović
UTICAJ PARAMETARA RAZLIČITIH ELIPSOIDA NA TRANSFORMACIJE GEODETSKIH KOORDINATA 128

Viktor Marković, Ana Vučićević, Radoje Banković
POTENCIJALNA PRIMENA 3D ŠTAMPE ZA IZRADU RELJEFNIH KARATA U GIS OKRUŽENJU 134

30. HEURISTIKE

Tatjana Davidović
PARALELIZACIJA METAHEURISTIČKIH METODA 140

Rava Filipović
INTEGRACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA I OPTIMALNO USMJERAVANJE ENERGIJE 146

Dušan Džamić, Miroslav Marić, Aleksandar Đenić, Bojana Lazović
A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR CREATING STUDENT GROUPS WITH SIMILAR CHARACTERISTICS 152

Nataša Glišović, Tatjana Davidović, Miodrag Rašković
KLASTEROVANJE KADA PODACI NEDOSTAJU KORIŠĆENJEM METODE PROMENLJIVIH OKOLINA 158

9. INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE

Olja Latinović
PREPOZNAVANJE GOVORNIKA KAO SISTEM ZASTITE U IOT TEHNOLOGIJAMA 165

Hana Stefanović, Radosav Veselinović
OPTIMIZACIJA ALGORITMA ZA SEGMENTACIJU REGISTARSKIH TABLICA U USLOVIMA OTEŽANE DETEKCIJE 170

Saša Bošnjak, Tatjana Davidov
SOFTVERSKE METODOLOGIJE U ULOZI KVALITETA SOFTVERSKIH REŠENJA 176

Slađana Janković, Snežana Mladenović, Ana Uzelac, Dušan Mladenović, Stefan Zdravković
MODEL INTEGRISANJA BIG DATA ANALITIKE SA TRADICIONALNIM SISTEMIMA POSLOVNE INTELIGENCIJE BAZIRAN NA VIRTUELIZACIJI PODATAKA 182

Marina Jovanović Milenković, Svetlana Jovanović, Mirjana Drakulić
BEZBEDNOST I ZAŠTITA PODATAKA U INTEGRISANOM ZDRAVSTVENOM INFORMACIONOM SISTEMU 188

Željko Gavrić, Miroslav Minović
TEHNOLOGIJE PRAĆENJA POKRETA OKA 195

Rade Stankić, Ana Aleksić Mirić
IZAZOVI DIZAJNA ORGANIZACIJE PRI PRIMENI KLAUD TEHNOLOGIJE 201

10. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

Ana Krstić, Predrag Mimović, Dragana Rejman Petrović
MERENJE ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH PERFORMANSI REPUBLIKE SRBIJE 208

Lazar Živković, Đuro Kutlača, Sanja Popović-Pantić
EU LEVEL SUPPORT PROGRAMMES FOR YOUNG INNOVATORS AND ENTREPRENEURS 214

Dušica Semenčenko, Dijana Štrbac, Đuro Kutlača
FOSTERING COOPERATION BETWEEN TRIPLE HELIX INSTITUTIONS IN THE DANUBE REGION 220

Dušan Rajić, Obrad Čabarkapa, Negovan Ivanković
INVENTOLOGIJA I TRŽIŠTE 225

Angela Fajsi, Slobodan Morača, Nela Cvetković
NETWORK ALIGNMENT ALGORITHMS 231

12. KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA

Aleksandar Savić, Zoran Maksimović, Milena Bogdanović, Jozef Kratica
KONVEKSNA I SLABO KONVEKSNA DOMINACIJA ZA HAMINGOVE GRAFOVE 237

Dragoš Cvetković, Mirjana Čangalović, Zorica Dražić, Vera Kovačević-Vujčić
COMPOSITE COMPLEXITY INDICES FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM 241

32. KVANTITATIVNI MODELI U FINANSIJAMA

Amela Piralić, Aida Brkan-Vejzović
KORELACIONA ANALIZA U FUNKCIJI PLANIRANJA I PREDVIĐANJA ULAGANJA NA TRŽIŠTU KAPITALA 248

Ana Milovanović, Rastko Aničić, Aleksandar Rakićević, Aleksandar Đoković
FORECASTING VOLATILITY OF BELEX15 MARKET INDEX USING A HYBRID ANN-GARCH MODEL 254

13. LOGISTIKA

Jelena Končar, Zita Petrović Katai
UPRAVLJANJE KONFLIKTIMA U KANALIMA MARKETINGA 260

Дражен Поповић, Ненад Бјелић
MIQP МОДЕЛ ЗА РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА ДОДЕЉИВАЊА КОМИСИОНИХ НАЛОГА 265

Branislava Ratković, Aleksandra Čolović
PROJEKTOVANJE POVRATNO LOGISTIČKE MREŽE ZA MOBILNE TELEFONE 271

Bratislav Lazić, Gordana Radivojević, Gorana Šormaz
SIMULACIJA OPERATIVNIH STRATEGIJA I PRAVILA DISPEČIRANJA CROSS DOCK TERMINALA 277

Драгана Дреновац, Милорад Видовић
ОПТИМАЛНО РАСПОРЕЂИВАЊЕ ВОЗИЛА ЗА ПРЕВОЗ ШЕЋЕРНЕ РЕПЕ 283

Ivana Vukićević Bišević, Katarina Vukadinović
NOVI MATEMATIČKI MODEL PROBLEMA DNEVNOG RASPOREĐIVANJA RADNIKA U LUČKIM KONTEJNERSKIM TERMINALIMA 289

SAOPŠTENJE

Jelena Milutinović, Biljana Grgurović, Slavica Radosavljević, Mirjana Popović
ODRŽIVOST POŠTANSKIH USLUGA U RURALNOM PODRUČJU I NJIHOV ZNAČAJ ZA REGIONALNI RAZVOJ 295

14. MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE

Marko D. Petković, Predrag S. Stanimirović
LEAST SQUARES SOLUTIONS OF MATRIX EQUATIONS AND THEIR APPLICATIONS 302

Predrag S. Stanimirović, Marko D. Petković
ACCELERATED GRADIENT DESCENT METHODS FOR NONLINEAR OPTIMIZATION 308

33. MEKA I BIHEJVIORALNA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA

Biljana Panić, Ivana Kovačević, Mirko Vujošević
BULLWHIP EFFECT AND COOPERATIVENESS: DOES SITUATIONAL CONDITIONS MATTER?.....315

Marija Kuzmanović, Isidora Kojčić
SARADNJA U EKSPERIMENTALNOJ IGRI JAVNOG DOBRA 321

Petrija Milojević, Marija Kuzmanović
FAKTORI SARADNJE U DVOETAPNOJ ULTIMATUM IGRI: REZULTATI EKSPERIMENTA 327

15. MEKO RAČUNARSTVO

Athanasios Dragoslis, Panagiota Digkoglou, Vassilis Kostoglou, Jason Papathanasiou
USING FUZZY AHP AND FUZZY VIKOR TO FIND THE MOST SUITABLE CROPS IN A REGION 334

Dragan Pamučar, Goran Ćirović
PRIMENA INTERVALNIH FUZZY-GRUBIH BROJEVA U VIŠEKRITERIJUMSKOM ODLUČIVANJU 346

Dušan Stevanović, Ivana Dragović
PREPOZNAVANJE OBJEKATA SA SLIKE KORIŠĆENJEM VAJOLA-DŽONS ALGORITMA 352

Nevena Vranić, Pavle Milošević, Ivana Dragović, Bratislav Petrović
PREDVIĐANJE PRODAJE NAFTNIH DERIVATA KORIŠĆENJEM NEURONSKIH MREŽA.....357

Marko Tadić, Marija Stamatović, Pavle Milošević, Ana Poledica
UTICAJ NEDOSTAJUĆIH VREDNOSTI NA KLASIFIKACIJU: PRIMER PREDVIĐANJA BANKROTSTVA SREDNJIH PREDUZEĆA U SRBIJI.....363

Duško Letić
SOME CERTAIN PROPERTIES OF THE GENERALIZED OF THE HYPERSPHERE FUNCTION 369

Dragan Radojević
BULOVSKI KONZISTENTNA REALIZACIJA TEORIJE FAZI SKUPOVA TIPA 2 375

31. NAUKA O PODACIMA

Aleksandar Simović
BIG DATA ANALYTICS IN PUBLIC ADMINISTRATION..... 382

Višnja Istrat, Dajana Matović
PROJEKAT IMPLEMENTACIJE ASOCIJATIVNIH PRAVILA NA PRIMERU TEKSTILNE INDUSTRIJE.....388

34. POSLOVNA ANALITIKA

Milan Radojičić, Gordana Savić, Aleksandar Đoković, Veljko Jeremić
EFIKASNOST I USPEH SREDNJIH ŠKOLA PRI UPISU NA FAKULTET.....394

Katarina Oreščanin
OPTIMIZACIJA NIVOA ZADOVOLJENJA TRAŽNJE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI 400

Ana Belić
ODREĐIVANJE OPTIMALNE KOLIČINE SNABDEVANJA KORIŠĆENJEM SISITEMA PREDVIĐANJA.....406

25. POUZDANOST I UPRAVLJANJE RIZIKOM

Kristina Andrić
PROCENA RIZIKA U PROCESU EKSPLOATACIJE PRIRODNIH RESURSA METODOM HFACS 414

Petar Pavlović, Dragana Makajić-Nikolić, Mirko Vujošević
KRITIČNOST KOMPONENTI U MULTI STATE SISTEMIMA 420

1. PRIMENE OI U EKOLOŠKOM MENADŽMENTU I UPRAVLJANJU PRIRODNIM RESURSIMA

Saša T. Bakrač
NATO BOMBARDOVANJE REPUBLIKE SRBIJE 1999. GODINE - MODEL PROCENE EKOLOŠKOG RIZIKA 427

Zlate Veličković, Zoran Bajić, Ljubomir Gigović, Radovan Karkalić, Krstimir Pantić, Aleksandar Marinković
OPTIMIZACIJA BROJA EKSPERIMENATA ADSORPCIJE PRIMENOM MODELA ODZIVNIH POVRŠINA.....433

Дејан Церовина
УПРАВЉАЊЕ ЕКОЛОШКИМ РИЗИКОМ ОД ШУМСКИХ ПОЖАРА – СТУДИЈА СЛУЧАЈА: ДЕЛИБЛАТСКА ПЕШЧАРА 439

Dušan Vasiljević, Majda Sedej
CHARGE REVENUE MANAGEMENT IN ENVIRONEMENTAL PROTECTION SECTOR 445

Marko Ćirović
PREGLED PRIMENE METODA OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA U EKOLOŠKOM MENADŽMENTU.....451

Igor Lavrnić, Minja Marinović, Milena Popović, Bisera Andrić Gušavac
SOLAR STORM ATTACKS, EFFECTS AND PUBLIC AWARENESS: A CASE STUDY OF THE REPUBLIC OF
SERBIA 455

Damjan Maletič, Tatjana Borojević, Nataša Petrović, Matjaž Maletič, Marjan Senegačnik
KVALITET VISOKOŠKOLSKOG EKOLOŠKOG OBRAZOVANJA ZA ODRŽIVOST.....460

Tatjana Borojević, Matjaž Maletič, Kristina Stanojević, Aleksandar Đoković, Jelena Andreja Radaković, Nemanja Milenković
ULOGA MLADIH U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE I ODRŽIVOSTI LOKALNE ZAJEDNICE.....466

5. PRIMENE OI U FINANSIJAMA I BANKARSTVU

Рајко М. Буквић
КОНЦЕНТРАЦИЈА И КОНКУРЕНЦИЈА У БАНКОВНОМ СЕКТОРУ СРБИЈЕ 472

Saša Ranđelović
TAX-BENEFIT POLICY RESPONSE TO INCOME INEQUALITY TRENDS IN EUROPE DURING THE CRISIS 478

Irena Janković
MERE PERFORMANSI PORTFOLIJA – MOGUĆNOSTI ZA PRIMENU NA FINANSIJSKOM TRŽIŠTU SRBIJE 484

Ivana Popović Petrović
ULOGA FINANSIRANJA SPOLJNE TRGOVINE I OGRANIČENJA U VREMENIMA EKONOMSKE KRIZE 490

Violeta Cvetkoska, Bojana Radinović
THE PHENOMENON OF THE NEGATIVE INTEREST RATES WITH A SPECIAL REVIEW OF THE MACEDONIAN BANKING SECTOR 496

Nina Milenković
PRILAGOĐAVANJE DISKONTNE STOPE U ZAVISNOSTI OD PREDMETA I SVRHE PROCENE 502

Jelena Kočović, Mirela Mitrašević, Dejan Trifunović
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF METHODS FOR ASSESMENT OF LOSS RESERVATIONS IN NON-LIFE INSURANCE 507

7. PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU

Ljubo Marković, Ljiljana Milić Marković, Velimir Dutina, Miljan Kovačević
PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA U REŠAVANJU PROBLEMA PREDVIĐANJA (PREDIKCIJE) INVESTICIONE VREDNOSTI 514

Miloš Marković, Marko Stanković
APPLICATION OF SCORING MODEL IN MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN THE SELECTION OF DIGITAL CAMERA FOR ASTRONOMICAL OBSERVATIONS OF THE NIGHT SKY 520

Slavoljub Tomić, Miroslav Marčeta
MOGUĆNOST PRIMENA FOTOGRAMETRIJSKOG 3D MODELIRANJA OBJEKATA I DINAMIČKIH KRETANJA U GRAĐEVINARSTVU 526

Slobodan Pandžić, Slavoljub Tomić , Dragan Macanović
ANALIZA UTICAJA SUBJEKTIVNOSTI IZBORA BROJA I POZICIJA TAČAKA KOJE SE SNIMAJU ZA OBRAČUN ZAPREMINA DEPONOVANOG MATERIJALA 532

Snežana Mitrović, Goran Ćirović, Dragan Nikolić
OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAME WITH THE SOCIAL SPIDER OPTIMIZATION METHOD 537

Горан Ћировић, Зоран Поповић, , Вуле Алексић
ГЕОИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ОБЈЕКТИМА КАНАЛИЗАЦИОНИХ МРЕЖА 543

Slobodan Jovović
PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE PRI PROCENI VREDNOSTI NEPOKRETNOSTI 549

Зоран Поповић, Зоран Живковић, Зора Алексић
МЕНАЏМЕНТ ОБЈЕКАТА ПУТНЕ МРЕЖЕ 555

Igor Peško, Goran Marković, Vladimir Mučenski, Aleksandra Vujkov, Dragana Bibić
MODELS FOR ESTIMATING CONSTRUCTION COSTS FOR RESIDENTIAL BUSINESS BUILDINGS 562

Nataša Popović-Miletić, Snežana Mitrović, Dragan Nikolić
OPTIMIZACIJA MREŽNOG DIJAGRAMA PROJEKTA PRIMJENOM BUFFER-A 568

Слободан Станаревић, Јелена Пралица
ВРЕДНОВАЊЕ КОНСУЛТАНТСКИХ УСЛУГА 574

Darija Gajić, Aleksandar Janković, Ljubiša Preradović
INDIKATOR ENERGETSKE EFIKASNOSTI REPREZENTATIVNOG UZORKA POSTOJEĆEG VRTIĆA U BANJOJ LUCI PREMA PROJEKTNIM I IZMJERENIM PARAMETRIMA 580

Saša B.Čvoro, Malina Čvoro, Una Umićević, Aleksandar Janković
ARHITEKTURA OBRAZOVNIH PROSTORA I DNEVNA OSVIJETLJENOST 586

Ljubiša Preradović, Darko Divnić
PODRŠKA ODRŽAVANJU ZGRADA ZAJEDNICA ETAŽNIH VLASNIKA 592

Dušan Turina, Aleksandar Kostić, Bojan Milošević
OPTIMALNI IZBOR GUSTINE MREŽE LINIJSKIH NOSAČA PRIMENOM METODE KONAČNIH RAZLIKA 598

Dragan Bojović, Ljiljana Lončar, Ksenija Janković, Marko Stojanović
ASSESSMENT CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH BY CONVENTIONAL AND SOFT PROGRAMMING TECHNIQUES 604

16. PRIMENE OI U MENADŽMENTU

Radenko Marić, Goran Vukmirović
MODELI I TEHNIKE ISPITIVANJA STAVOVA I ZADOVOLJSTVA POTROŠAČA U FUNKCIJI VEZIVANJA ZA IMIDŽ MALOPRODAJNOG OBJEKTA 610

18. PRIMENE OI U ODBRANI

Милан Ковачевић, Бојан Кузмановић, Дејан Ђорђевић
КАДРОВСКИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ И EXPERT-CHOICE У ИЗБОРУ ОФИЦИРА ЗА УПУЋИВАЊЕ НА ГЕНЕРАЛШТАБНО УСАВРШАВАЊЕ 617

Влада Митић, Срђан Димић, Зоран М. Мачак
УТВРЂИВАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА ИЗБОР ОПЦИЈЕ РАЗВОЈА СПОСОБНОСТИ ВОЈСКЕ 624

Radomir Janković, Momčilo Milinović
PRISTUP SIMULACIJI ROJENJA I SINHRONIZOVANOG RAKETNOG UDARA PROTIV AKTIVNE PRETNJE 630

Zoran Bajić, Jovica Bogdanov
RISK ASSESSMENT OF EXPLOSIVE CHARGE REMOVAL FROM ARTILLERY SHELL DURING AMMUNITION DISPOSAL PROCESS 636

Zoran Karavidić, Ranko Lojić, Damir Projović
PODRŠKA ODLUČIVANJU U OPERACIJAMA SNAGA BEZBEDNOSTI PRIMENOM GRUBIH SKUPOVA I BAJESOVE TEOREME 640

Бојан Кузмановић, Милан Ковачевић, Мирослав Терзић
ПРИМЕНА МЕТОДА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ (АХП И TOPSIS) ПРИ НАБАВЦИ ШИРОКОПОЈАСНИХ РАДИО ПРИЈЕМНИКА 646

Срђан Димић, Влада Митић, Миломир Исаиловић
ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕЖИНСКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА КРИТЕРИЈУМА ПРИМЕНОМ FUZZY DELPHI МЕТОДЕ 652

Зоран М. Мачак, Александар Илић
ИЗБОР НАЈБОЉЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ АНАЛИТИЧКОГ ХИЈЕРАРХИЈСКОГ ПРОЦЕСА 658

Милан Канкараш, Далибор Петровић, Иван Петровић
ПРЕДВИЂАЊЕ БУДУЋИХ ПЕРФОРМАНСИ СЛОЖЕНИХ БОРБЕНИХ СИСТЕМА 663

Милан Ковачевић, Бојан Кузмановић, Дејан Ђорђевић
КАДРОВСКИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ И EXPERT-CHOICE У ИЗБОРУ ОФИЦИРА ЗА УПУЋИВАЊЕ НА ГЕНЕРАЛШТАБНО УСАВРШАВАЊЕ 669

Nebojša Nikolić
TANDEM QUEUEING CONCEPT IN IMPROVING COMMAND & CONTROL PROCESS IN HYBRID ENVIRONMENT 675

Dejan Stojković, Vlada Mitić, Nenad Dimitrijević
KVANTITATIVNI PRISTUP PROCENI UGROŽENOSTI NACIONALNE BEZBEDNOSTI 681

Миломир Исаиловић, Милан Канкараш, Срђан Димић
УПРАВЉАЊЕ РИЗИЦИМА У ВОЈНОМ ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ 686

Dragan Bojanić, Vladimir Ristić, Marina Bojanic
IZBOR POLOŽAJA PROTIVOKLOPNE BATERIJE U ODBRAMBENOJ OPERACIJI PRIMENOM METODA RANGIRANJA I METODE VIKOR 692

Dalibor Petrović, Milan Kankaraš, Nenad Kapor
VEROVATNOĆA PREŽIVLJAVANJA VAZDUHOPLOVNE PLATFORME U SUKOBU JEDAN NA VIŠE 698

Mitar Kovač, Nenad Kovačević
METODOLOŠKE OSNOVE ODREĐIVANJA BORBENIH MOGUĆNOSTI VOJNOORGANIZACIONIH SISTEMA 704

19. PRIMENE OI U RUDARSTVU, GEOLOGIJI I ENERGETICI

Sandra Jednak
EKONOMSKI EFEKTI REGIONALNE INTEGRACIJE TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE 710

Jelisaveta Krstivojević, Darko Šošić, Aleksandar Savić
PODEŠAVANJE I KOORDINACIJA PREKOSTRUJNIH RELEJA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI 716

20. PRIMENE OI U SAOBRAĆAJU, TRANSPORTU I KOMUNIKACIJAMA

Dušan Teodorović, Milica Šelmić, Miloš Nikolić, Ivana Jovanović, Marijo Vidas
METAHEURISTIČKI PRISTUP ZA LOCIRANJE DETEKTORA NA SAOBRAĆAJNIM MREŽAMA 723

Bojana Mirković, Tatjana Krstić Simić, Feđa Netjasov, Obrad Babić
METHODOLOGY FOR SAFETY RISK ASSESSMENT IN FUTURE AIR TRAFFIC MANAGEMENT CONCEPT OF OPERATIONS 729

Feđa Netjasov, Dušan Crnogorac
ASSESSMENT OF SAFETY PERFORMANCE INDICATORS OF FUTURE AIR TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM 734

Branka Mikavica, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Vesna Radonjić Đogatović
AUCTION-BASED PRICING MECHANISMS FOR CLOUD SPOT INSTANCES 740

Emir Ganić, Obrad Babić, Mirjana Čangalović, Milan Stanojević
AIR TRAFFIC ASSIGNMENT TO REDUCE POPULATION NOISE EXPOSURE: AN APPROACH INCORPORATING HUMAN MOBILITY PATTERNS 746

Katarina Kukić, Aleksandar Jovanović
UPRAVLJANJE PREZASIĆENOM RASRSNICOM U REALNOM VREMENU - PRISTUP FAZI LOGIKOM 752

Tijana Levajković, Danica Babić, Milica Kalić
AIRLINE REVENUE MANAGEMENT FOR COMPLEX NETWORKS 758

Danica Babić, Boris Begović, Tijana Levajković
FROM LOYALTY TO FEAR: PASSENGERS' PREFERENCES AND THEIR IMPACT ON THE AIRLINE NETWORK STRUCTURE 765

Mirjana Kovačić, Ante Mrvica
SELECTING THE SIZE AND TYPE OF A VESSEL FOR THE PURPOSE OF MARITIME CONNECTION OF MAINLAND AND ISLANDS AS WELL AS BETWEEN THE ISLANDS IN CROATIA 771

Milorad Vidović, Branka Dimitrijević, Rosalia Camporeale, Leonardo Caggiani
JEDAN PRISTUP MODELIRANJU JAVNOG BICIKLISTIČKOG SISTEMA 777

Bratislav Lazić, Batanović Vladan, Petrović Radivoj, Guberinić Slobodan
UTICAJ „FILTRIRANJA" PARCIJALNE SAOBRAĆAJNE STRUJE NA KAPACITETSIGNALISANE RASKRSNICE 783

21. SIMULACIJA I STOHASTIČKI MODELI

Biljana Popović, Aleksandar Jovanović, Vidosav Marković
DETERMINATION OF PARAMETERS OF BREAKDOWN TIME DELAY DISTRIBUTION BY EXPECTATION MAXIMIZATION ALGORITHM 790

Siniša Arsić
MODEL ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA MOBILNIH UREĐAJA U POSLOVNICAMA KOMPANIJE TELEKOM SRBIJA 792

Aleksandar Varjačić, Milorad Stanojević
SIMULACIJA RADA POŠTANSKOG ŠALTERSKOG SISTEMA 802

Vladimir Božin, Boban Karapetrović, Milica Jovalekić
MARTINGALE I NEJEDNAKOSTI 808

Dragan Kitanović, Marko Đogatović, Milorad Stanojević
SIMULACIONI MODEL PLATFORME ZA DEICING I ANTI-ICING AERODROMA „NIKOLA TESLA“ U BEOGRADU 812

27. TEORIJA IGARA

Peter N. Posch, Vladislav Radak
A GAME THEORY APPLICATION ON PACKAGE ASSET AUCTIONS 819

Milena Vukić
HOTELINGOV MODEL I IZBOR LOKCIJE U USLUŽNOM SEKTORU 825

Sofija Prokić
GRUPNO NASPRAM INDIVIDUALNOG PONAŠANJA U EKSPERIMENTALNIM IGRAMA 831

24. UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM I LANCI SNABDEVANJA

Zoran Popović, Marko Backović, Marijana Novković
PRIMENA WAGNER-WHITIN I WEGELMANS – HOESEL – KOLEN MODELA U OPTIMIZACIJI NABAVKE ZALIHA 838

Zorica Mitrović, Mirko Vujošević, Marija Todorović
OKVIR ZA ANALIZU SISTEMA ZA MERENJE PERFORMANSI LANACA SNABDEVANJA 846

Zoran Rakićević
PREDGLED PROBLEMA JOB SHOP: KARAKTERISTIKE I METODE REŠAVANJA 852

26. VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA

Sanja Puzović, Vladan Paunović, Miroslav Radojičić, Jasmina Vesić Vasović, Milena Vujović
VIŠEKRITERIJUMSKI PRISTUP SELEKCIJI DOBAVLJAČA ZASNOVAN NA AHP METODI 860

Mladen Janjić, Mališa Žižović, Nada Damljanović, Katarina Pavlović
STABLO AKCIJSKIH PROMENA ZA KOREKCIJU TEŽINSKIH KOEFICIJENATA 866

Milan Mihajlović, Snežana Krstić, Radovan Damnjanović
PRIMENA AHP METODE U REALIZACIJI NABAVKI 872

Stanislava Bosiočić, Miodrag Kostić, Marko Stanković
PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE NA IZBOR DIZAJNA DRUGOG REDA GRADSKE TRIGONOMETRIJSKE MREŽE 878

2017

PREDAVANJA POZIVNIH PREDAVAČA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MARKET NETWORK ANALYSIS: IDENTIFICATION OF NETWORK STRUCTURES IN MARKET NETWORK

VALERY KALYAGIN

University – Higher School of Economics, Nizhniy Novgorod, Russia, vkalyagin@hse.ru

Abstract: *Network (graphical) model of the stock market is a popular tool for the stock market investigation. Network market model is a complete weighted graph, nodes of the graph corresponds to the stocks and weights of edges are given by some measure of association between characteristics of the stocks. Network structure is a sub graph of this complete weighted graph which keeps some important information on the network. Pearson correlation is the most popular measure of association used in practice for network structure identification. However, it is known that Pearson correlation is unstable under deviation of the distributions from Gaussian. It implies that the algorithms of identification of network structures based on Pearson correlation are sensitive to the assumption on distributions. In the present paper a robust (distribution free) algorithms (statistical procedures) for network structure identification are proposed and discussed. Proposed procedures are based on sign similarity between stock's returns as a measure of association.*

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

LINGUISTIC SUMMARIES FROM THE DATA: ISSUES AND PERSPECTIVES

MIROSLAV HUDEC

University of Economics in Bratislava, Slovakia,

Abstract: *Short quantified sentences of natural language are able to handle semantic uncertainty of the real world and provide answers, which are not terse as numbers. We can say that summary is: a more or less accurate textual description (summary) of a data set.* .

This simple definition hides many challenges: construction of fuzzy sets for summarizers, restrictions and quantifiers, selecting appropriate aggregation functions, sufficient coverage of data, simplicity and the like. Mining summaries of interest can be expressed as an operational research task for which we should find all feasible solutions. In addition, this talk gives a touch of summaries form fuzzy data. Furthermore, linguistic summaries are applicable as quantified query conditions in data retrieval task. .

Linguistic summaries have broad applicability. In cognitive cities we need approaches suitable for all stakeholders. Data dissemination in official statistics is another perspective field. The last but not the least, business intelligence questions can be answered by linguistic summaries, where summaries can, among others, support complex queries expressed by asymmetric quantified constraints. This concept is based on the remarkable human capability to express observations by linguistic terms.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

EXTERIOR POINT SIMPLEX-TYPE ALGORITHMS FOR LINEAR AND NETWORK OPTIMIZATION PROBLEMS

ANGELO SIFALERAS

University of Macedonia, Department of Applied Informatics,

Abstract: *Two decades of research led to the development of a number of efficient algorithms that can be classified as exterior point simplex-type. This type of algorithms can cross over the infeasible region of the primal (dual) problem and find an optimal solution reducing the number of iterations needed. The main idea of exterior point simplex-type algorithms is to compute two paths/flows. Primal (dual) exterior point simplex-type algorithms compute one path/flow which is basic but not always primal (dual) feasible and the other is primal (dual) feasible but not always basic. The aim of this talk is to present the developments in exterior point simplex-type algorithms for linear and network optimization problems, over the recent years. We also present other approaches that, in a similar way, do not preserve primal or dual feasibility at each iteration such as the monotonic build-up Simplex algorithms and the criss-cross methods. Finally, we discuss about possible future research directions in these algorithmic approaches*

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOME QUALITY FUNCTIONS FOR COMMUNITY DETECTION ON NETWORKS

NENAD MLADENOVIĆ

Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, nenad@mi.sanu.ac.rs

Abstract. *One of the most studied phenomenon in complex networks is community structure, i.e., a division of the network into groups or clusters. Many criteria have been proposed in the literature to cover obvious fact regarding the homogeneity of entities within cluster and diversity of entities among different clusters at the network. In this talk I will discuss most commonly used criteria, such as modularity and ratio-cut. Moreover, the new criterion for community detection is proposed that, for the first time, recognizes known groups for all well-known small instances from the literature. A quality of the individual community we define as difference between its benefit and cost, where both, benefit and cost greatly depend on the number of internal edges and the number of external edges, respectively. Comparison of the new criterion with modularity and ratio-cut criteria are performed on usual instances from the literature. For all 3 criteria, efficient heuristics based on Variable neighborhood search metaheuristic are designed.*

2017

SPECIJALNA SEKCIJA: ANALITIKA I OPTIMIZACIJA U JAVNOM SEKTORU

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ANALYZING THE QUALITY IN PUBLIC PROCUREMENT - APPLICATION OF THE QUADRATIC QUALITY LOSS FUNCTIONS

IVANA MIJATOVIC[1], RADE LAZOVIC[2]

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, ivanamt@fon.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, lazovic@fon.bg.ac.rs

Abstract: The amount of public procurement spending is growing globally and about one-third of public-sector spending is related to hospitals and health care institutions. Knowing that facts, it is vise decision to strengthen the capacity and capabilities of purchasing public organizations to manage public procurements. Translating needs of public authorities, as well as final users of goods and services, into tender documentation is complex task which needs multidisciplinary teams. One of the key problems in public procurement is related to defining specific requirements for companies (bidders), award criteria and technical specification of quality of goods and services. Dominant practice - public procurement based on only one or dominant award criterion based on the lowest price might have as a result purchasing low quality goods and services. To prevent that, the purchasing organizations need to apply criteria in addition to or other than price and to describe the functions of the product or the desired outcomes rather than technical specifications. This paper has aim to present usage of Quadratic Quality Loss Function (QQLF) for the analysis of quality of medical devices for the purpose of public procurement. The application of the QQLF concept can help purchasing organizations to develop their ability to adequately address problems of quality in use and achieve values for the price. The average or expected quality losses which can be calculated by QQLF are valuable argument in preventing lower quality products to be repurchased and can be added to other award criteria.

Keywords: *quality, public procurement, medical devices.*

1. INTRODUCTION

Public procurement can be defined as "purchasing work, goods or services from companies by public authorities" (e.g. government departments, local authorities, public hospitals, etc.) ("Public procurement", 2017). The amount of public procurement spending has been increasing globally. Based on data of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and the Mc Kinsey analysis, purchasing accounts for one-third of public-sector spending and with purchasing share of: 34% on national defense, 31% on hospitals and 29% on departments of central governance (Husted and Reinecke, 2009). According to the European Commission (2017), public procurement in the EU accounts for more than 14% of Gross Domestic Product (GDP). The Republic of Serbia annually spends around 3 billion EUR through public procurement procedures (Varinac and Ninić, 2014, pp. 2). In many cases purchasing decisions of public authorities, as dominant buyers, make substantial influence on companies on the market, trade of goods as well as whole industries. Transparent and fair process of public procurement is important for all actors on the market: public authorities, companies, final users/consumers/customers, general public and others. However, many countries still face problems in establishing transparent and fair public procurement markets (see more in World Bank Group, 2017).

Public procurement is regulated by law in order to provide best value for money by transparency, equal treatment and non-discrimination (European Commission, 2015). In European Union, prior to the implementation of EU legislation related to public procurement, "only 2% of public procurement contracts were awarded to non-national undertakings" ("Public procurement contracts", 2017). Aside the goals related to the better allocation of economic resources, more rational use and easier approach of Small and Medium Enterprises (SMEs) to public funds, EU legislation support open and effective competition in public procurement market. It is clear that many governments, use purchasing to support the domestic economy (certain regions, industry sectors, or even companies; innovations, entrepreneurships, environmentally friendly

products or businesses etc.) as an argument for spending money domestically even when purchasing internationally would be less expensive (Husted and Reinecke, 2009). Further more, "A McKinsey survey of purchasing practices in more than 300 organizations in a wide range of industries revealed that public-sector institutions lag behind private-sector companies on several performance dimensions, including efficiency of purchasing tools and processes, capabilities, and performance management" (Husted and Reinecke, 2009). Strengthening the capacity and capabilities of purchasing public organizations to manage public procurements is one of the most important tasks in developing public procurement market.

Translating needs of public authorities, as well as final users of goods and services, into tender documentation in accordance with the public procurement law and on timely manner is complex task which needs multidisciplinary teams. In many cases, the key problem is related to defining specific requirements for companies (bidders), award criteria and technical specification of quality of goods and services. The award criteria have to be established in advance and they serve as a basis for choosing the best tender. The EU law limits the award criteria to either the lowest-price criterion or the most economically advantageous tender (MEAT) criterion, which means applying criteria in addition to or other than price (Sigma, 2011, January). Based on data taken from the Public Procurement Reporting (European Commission, 2015, pp. 5-6) over-reliance on lowest price in tenders is evident, and better criteria based on specific context are needed. Dominant practice is that public procurements are based on only one or dominant award criterion based on the lowest price. That practice might have as a result purchasing of low quality goods and services. To prevent purchasing of low quality goods and services, technical specifications for quality of goods and services have to be carefully defined in tender documents as well as more specific criteria have to be considered. Providing adequate technical specification for products and services in public procurement is often seen as a key problem in public procurement. Due the information asymmetry (producers know much more about products than buyers) and large number of products with similar quality characteristics on the market, specification of only technical characteristics of products and services in tender documentation might be insufficient. "Complex product categories are typically best suited to functional tenders, in which the purchasing organization describes the functions of the product or the desired outcomes rather than technical specifications, and gives suppliers leeway to identify the best solutions" (Husted and Reinecke, 2009).

The aim of this study is to explore possibilities of usage of concept of the *Taguchi's quality loss function* for providing arguments for public procurements in describing functions of the products as desired outcomes. We claim that in public procurement, aside specifying technical data related to specific products, as well as requiring the objective evidence of conformity with regulations or standards (e.g. declarations or certificates of conformity) can be specified as the loss imparted by product or service from the time product being purchased. In order to elaborate our claim and to further elaborate mathematical base of calculating losses due quality, we explained Taguchi's concept of quality and quadratic quality loss function (section 2). Specific application in public procurement of medical devices is elaborated in section 3.

2. TAGUCHI'S QUADRATIC QUALITY LOSS FUNCTIONS

Work and theories of Genichi Taguchi are well known in the quality management theory and his definition of a quality was quite revolutionary in the 1980s. He defined quality as "the loss imparted by product or service to the society from the time product being shipped" (Taguchi et.al, 2005). Based on this definition, quality of products or services must be related to the losses which are expressed in monetary units, caused by failures, problems or malfunctioning of a products or a service on the market. Quality of the product or the service is complex concept and in practice is often represented by many quality characteristics. In many cases quality characteristics are correlated. In general, quality characteristics $(y_1, y_2, y_3, ..., y_n)$ are continuous variables that can be nominal-the-best (NtB), smaller the better (StB) and larger the better (LtB). NtB quality characteristics are defined by their target value m and tolerance Δ ($m \pm \Delta$; $m \neq 0, m \neq \infty$). StB quality characteristics are special case of NtB characteristics in which target value is equal to zero and tolerance is defined as maximum acceptable level. LtBs are special case of NtB quality characteristics where the target value is ∞ and tolerance is defined as minimal acceptable level.

Maghsoodloo S. and Chang C.L., (2001), Maghsoodloo and Huang (2001) and Ozdemir and Maghsoodloo (2004) gave important contributions to development of Taguchi's quadratic quality loss function (QQLF)

The study of Lazovic and Mijatovic (2012) contribute to improvement of concept for a trivariate response and more detailed mathematical proofs related to procedure for finding feasible region for coefficients of loss functions. We proposed improved algorithm for obtaining coefficients of loss functions k i,j with proofs related each step for trivariate NtB response. The nonlinear constraint was solved analytically and exact feasible region is obtained for coefficients (parameters) of loss functions (see more in Lazovic and Mijatovic, 2012). Taguchi's quadratic quality loss function (QQLF) for three NtB quality characteristics (significantly correlated) is defined as:

a) QQLF for one units of products

$$L(y_1,y_2,y_3)=k_{11}(y_1-m_1)^2+k_{22}(y_2-m_2)^2+k_{33}(y_3-m_3)^2+k_{12}\left|(y_1-m_1)(y_2-m_2)\right|+$$
$$+k_{13}\left|(y_1-m_1)(y_3-m_3)\right|+k_{23}\left|(y_2-m_2)(y_3-m_3)\right|$$

b) QQLF for n units of products

$$\bar{L}=k_{11}\left[\sigma_{11}^2+(\bar{y}_1-m_1)^2\right]+k_{22}\left[\sigma_{22}^2+(\bar{y}_2-m_2)^2\right]+k_{33}\left[\sigma_{33}^2+(\bar{y}_3-m_3)^2\right]+$$
$$k_{12}\left[\sigma_{12}^2+\left|(\bar{y}_1-m_1)(\bar{y}_2-m_2)\right|\right]+k_{13}\left[\sigma_{13}^2+\left|(\bar{y}_1-m_1)(\bar{y}_3-m_3)\right|\right]+k_{23}\left[\sigma_{23}^2+\left|(\bar{y}_2-m_3)(\bar{y}_3-m_3)\right|\right]$$

$$\sigma_{11}^2=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_{1j}-\bar{y}_1)^2$$

$$\sigma_{22}^2=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_{2j}-\bar{y}_2)^2$$

$$\sigma_{33}^2=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_{3j}-\bar{y}_3)^2$$

$$\sigma_{12}^2=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\sqrt{(y_{1j}-\overline{y_1})^2}\cdot\sqrt{(y_{2j}-y_2)^2}$$

$$\sigma_{13}^2=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left|(y_{1j}-\overline{y_1})(y_{3j}-\overline{y_3})\right|$$

$$\sigma_{23}^2=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left|(y_{2j}-\overline{y_2})(y_{3j}-\overline{y_3})\right|$$

Determination of coefficients $k_{11}, k_{22}, k_{33}, k_{12}, k_{13}$ and k_{23} are based on total or losses for the consumer (losses when product or services are out of functioning A11, A22, A33). In practice, it is quite difficult to determine at what level of quality, or what specific value of quality characteristics, product or service is out of the function. Taguchi proposed that functional tolerance (lethal dosage) is value of quality characteristics in which 50% of customers will be dissatisfied. Losses in that case are total or boundary losses.

$$A_{11}=L(m_1\pm\Delta_1,m_2,m_3)=k_{11}\Delta_1^{\,2}\rightarrow k_{11}=\frac{A_{11}}{\Delta_1^2}$$

$$A_{22}=L(m_1,m_2\pm\Delta_2,m_3)=k_{22}\Delta_2^{\,2}\rightarrow k_{22}=\frac{A_{22}}{\Delta_2^2}$$

$$A_{33}=L(m_1,m_2,m_3\pm\Delta_3)=k_{33}\Delta_3^{\,2}\rightarrow k_{33}=\frac{A_{33}}{\Delta_3^2}$$

Total or boundary losses $A_{12}=L(m_1\pm\Delta_1,m_2\pm\Delta_2,m_3)$, $A_{13}=L(m_1\pm\Delta_1,m_2,m_3\pm\Delta_3)$ and $A_{23}=L(m_1,m_2\pm\Delta_2,m_3\pm\Delta_3)$ are determined from facts: that quality characteristics are correlated in pairs and boundary losses A12, A13 and A23 have to be lower than sum of A11 and A22; A11 and A33 and

A22+A33; and that there is no cumulative effects that lower total losses due influence of the pairs of quality characteristics, as it was stated below:

max (A_{11},A_{22}) < A_{12} < A_{11} + A_{22}

max (A_{11},A_{33}) < A_{13} < A_{11} + A_{33}

Based on values of A12 and A13, coefficients of QQLF k12 and k13 as well as corrective coefficient z are calculated as:

$$k_{12} = \frac{A_{12} - A_1 - A_2}{\Delta_1 \cdot \Delta_2}$$

$$k_{13} = \frac{A_{13} - A_1 - A_3}{\Delta_1 \cdot \Delta_3}$$

$$z(k_{12}, k_{13}) = \frac{1}{2k_{11}} \cdot (k_{12} \cdot k_{13}) \pm \sqrt{(k_{12}^2 + 4k_{11}k_{22}) \cdot (k_{13}^2 + 4k_{11}k_{33})}$$

Interval for choosing loss $A_{23} = L(m_1, m_2 \pm \Delta_2, m_3 \pm \Delta_3)$ is $\max\{ A_2, A_3, A_2 + A_3 + \Delta_2\Delta_3 z_2(k_{12}, k_{13}), A_2 + A_3 \}$ and

$$k_{23} = \frac{A_{23} - A_2 - A_3}{\Delta_2 \cdot \Delta_3}$$

More detailed mathematical proofs and theory background can be found in Lazovic and Mijatovic (2012).

3. APPLICATION OF TAGUCHI'S QUADRATIC QUALITY LOSS FUNCTIONS IN PUBLIC PROCUREMENT OF MEDICAL DEVICES

According to World Health Organization (WHO): "medical device means any instrument, apparatus, implement, machine, appliance, implant, reagent for in vitro use, software, material or other similar or related article, intended by the manufacturer to be used, alone or in combination, for human beings, for one or more of the specific medical purpose(s) of: diagnosis, prevention, monitoring, treatment or alleviation of disease; diagnosis, monitoring, treatment, alleviation of or compensation for an injury; investigation, replacement, modification or support of the anatomy or of a physiological process; supporting or sustaining life; control of conception; disinfection of medical devices; providing information by means of in vitro examination of specimens derived from the human body, and which does not achieve its primary intended action by pharmacological, immunological or metabolic means, in or on the human body, but which may be assisted in its intended function by such means."(WHO, 2017).

Just overall look to this definition shows how many technically and technologically different products are belonging to the group of medical devices – from disinfection products, bandages, needles, syringes, to artificial hips and pacemakers. For the purpose of defining adequate technical specification of all medical devices needed on daily bases in public hospitals and health care institutions, purchasing organizations need to have substantial level of medical and technical expertise in many different areas and knowledge related to global as well as domestic market; technical regulation and law requirement for specific group of products, and at least understanding of market regulations and surveillance as well as international, European and national (not only domestic) standards.

Many international and European standards are developed in order to define minimal requirements for safety and effectiveness of medical devices, and some of them are belonging of specific group of standards – (harmonized in Europe or recognized standards in USA and Canada) which are "developed by experts that represent the three parties in the market – manufacturers, users and competent authorities – to ascertain that no interest group outvotes the other parties and the biases of an "easy way out" (manufacturers), unrealistic expectations (users) and excessive demands (competent authorities) can be avoided" (Klaus, 2015). The roles of standards in public procurement are important and diverse and needs more space to elaborate. The basic explanation is that usage of international, European and national standards in public procurement processes is inevitable – in providing objective evidence (e.g. by providing a declaration or a certificate of conformity) that producers fulfill a minimal requirements for safety, quality and effectiveness of their processes or

products. However, even if producers/bidders provide objective evidence that their products meet the essential requirements of all relevant European directives (CE mark), the problems with quality might occur.

Aside the basic requirements, such as CE mark (it is still not mandatory requirement in Serbia), the purchasing organizations needs to provide other requirements that will provide that products they purchase are of adequate quality. Taguchis' concept of quality measured in monetary units after the product is purchased offered purchasing organizations tools for analysis of the losses in monetary units due the quality. Knowing the fact that public hospitals do not have enough resources for adequate data collection and analysis, our study is based on a data which can be found in the medical records. For the example we provide application of the QQLF in the case of the usage of two surgical gloves of same type and equal quality characteristic from different producers (Brand A and Brand B) used during the 20 similar medical procedures. We collected data for three variables:

- y1 - indicator of consumption (IOC). Indicator of consumption is calculated as a

$$\frac{number_of_used_surgical_gloves_in_medical_procedure}{number_of_planned_gloves} - 1$$

  (number of used surgical gloves in medical procedure / number of planned gloves according to internal act for the medical procedure and number of medical staff) -1. This variable is the StB, with target value m=0, and maximum acceptable level defined by hospital as 0.5. If the consumption is on maximum acceptable level the corrective action has to be started and average loss in that case is 3$ per medical procedure.
- y2 - time lost (LTO) at medical procedure due malfunction/recovery/outperformance of surgical gloves. This variable is StB with maximal acceptable level defined as 3 minutes/per medical person. If the lost time due malfunction of the gloves is on maximum acceptable level the corrective action has to be started and average loss in that case is 45 $ per average medical procedure.
- y3 - perception of low quality of surgical glows during the operation (QPER). This variable is StB too and maximum acceptable level defined by hospital as 8. If the dissatisfaction of the medical staff on maximum acceptable level the corrective action has to be started and average loss in that case is 10 $ per average medical procedure.

Based on presented inputs QQLF for this case is:

$$L(y_1, y_2, y_3) = 12 \cdot y_1^2 + 5 \cdot y_2^2 + 0{,}16 \cdot y_3^2 - 1{,}33 \cdot y_1 y_2 - 0{,}5 y_1 \cdot y_3 - 0{,}21 \cdot y_2 y_3$$

Based on data taken from medical records, which are mandatory requirements for any medical procedure at surgery, we have calculated two average or expected losses in the case of usage the surgical gloves of Brand A as LA= 84,9 $ per average medical procedure and in the case of usage of the surgical gloves Brand B LB=244 $ per average medical procedure. Based on those results it can be concluded that both used brands of the surgical gloves had quality problems which caused the quality losses, however the quality losses in usage of the surgical brand B are three times higher. This might be the strong argument for not continuing to purchase the surgical gloves of Brand B. Furthermore the argument that quality losses are far more higher than cost of pair of surgical gloves (due the requirements for the sterility, specific procedures when sterility of surgical procedure is jeopardized, wait time for adequate response, discomfort of medical staff, …) can influence better perception, commitment and deeper understanding of responsibilities for quality of medical devices in medical intuitions.

4. CONCLUSION

The new EU rules on medical devices (European Commission, 2017) are focused on: further improvements in area of quality, safety and reliability of medical devices; lowering information asymmetry as well as enhancing market and post market surveillance of medical devices. According to this rules, all manufacturers of medical devices will be obliged to collect data about performance of the medical devices they produce. The providers of health services and producers and their representatives will be forced to more closely cooperate in sharing risks related to usage of medical devices. The data collecting, analyses of performance, quality, safety, effectiveness and economical sustainability of medical devices will be task of the

manufacturers as well as providers of health services. This paper has aim to present usage of the QQLF for the analysis of quality of medical devices for the purpose of public procurement. Based on the QQLF for three StB variables in accordance with algorithms of Lazovic and Mijatovic (2012), Ozdemir and Maghsoodloo (2004), Maghsoodloo S. and Chang C.L., (2001) and Maghsoodloo and Huang (2001) we have calculated average or expected losses for two brands of medical devices. The QQLF can be used in providing argument about quality of the specific medical devices in public procurement. Quality is measured trough expected outcomes which are of high importance to the health organizations (consumptions, time lost during the medical procedure and perceived quality by medical staff) and expressed in monetary units.

In addressing quality in public procurement two aspects can be of highest importance: understanding and analyzing quality as the losses expressed in monetary units, caused by failures, problems or malfunctioning of a products or a service on the market and defining quality characteristics as desired outcomes for purchasing organizations rather than technical specifications (which have more meaning to manufactures). Taguchi's QQLF concept can help purchasing organizations to develop their ability to adequately analyse problems of quality in use and achieve value for the price. The average or expected quality losses which can be calculated by QQLF are valuable argument in preventing lower quality products to be repurchased and can be added to other award criteria.

REFERENCES

[1] European Comission. (2015). Single Market Scoreboard – Performance per Policy Area – Public Procurement, (Reporting period: 01/2015 -12/2015), http://ec.europa.eu/internal_market/scoreboard/performance_per_policy_area/public_procurement/index_en.htm

[2] European Commision.(2017). New EU rules on medical devices to enhance patient safety and modernise public health, Published on: 05/04/2017; http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item_id=9119&lang=en

[3] European Commision.(2017). Public procurement of innovative products and services, last retrieved, http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/policy/public-procurement/

[4] Husted, C. Reinecke N.(2009). Improving public-sector purchasing. http://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/improving-public-sector-purchasing

[5] Klaus E. S., Role of Standards in the Assessment of Medical Devices, ISO, 2015 Klaus E. S., Role of Standards in the Assessment of Medical Devices, WSC, 2015.

[6] Lazović R., Mijatović I.,(2012). „Modified quadratic loss function for a trivariate response with the exact feasible region for parameters", Journal of Manufacturing Systems, Vol.31, No 2., 177-183.

[7] Maghsoodloo S, Chang CL. (2001). Quadratic loss functions and signal to noise ratios for a bivariate responses. Journal of Manufacturing Systems. 2001;20(1).

[8] Maghsoodloo S, Huang H.(2001). Quality loss functions and performance measures for a mixed bivariate response. Journal of Manufacturing Systems. 2001;20(2):73–88.

[9] Ozdemir G, Maghsoodloo S. (2004). Quadratic quality loss functions and signal-to-noise ratios for a trivariate response. Journal of Manufacturing Systems. 2004;23(2):144–71.

[10] Public procurement contracts" Retrieved from http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/en/displayFtu.html?ftuId=FTU_3.2.2.html

[11] Public procurements. (2017, June 10). Retrieved from: https://ec.europa.eu/growth/single-market/public-procurement_en

[12] Sigma.(2011, January). Public Procurement Setting the Award Criteria (Brief 8). Retrieved from http://www.sigmaweb.org/publications/SettingtheAwardCriteria_Brief8_2011.pdf

[13] Taguchi G, Chowdhury S, Wu Y. (2005).Taguchi's quality engineering handbook. JohnWiley & Sons, Inc.

[14] Varinac, S. Ninić, I.(2014). Public Procurement Corruption Map in the Republic of Serbia. Organization for Security and Cooperation in Europe Mission to Serbia, Serbia

[15] World Bank Group.(2017). Benchmarking Public Procurement - Assessing Public Procurement Regulatory Systems in 180 Economies. World Bank Group.

[16] World Health Organization, Medical Device – Full Definition, http://www.who.int/medical_devices/full_deffinition/en/

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ANN CLASSIFICATOR AS SUPPORT IN STRATEGY FOR FARMERS' EDUCATION

ZORICA TANASKOVIĆ[1], GORDANA MILOSAVLJEVIĆ[2], MILOVAN MILIVOJEVIĆ[1], VESNA VASOVIĆ[1]

[1] Business and Technical College of Applied Sciences, Uzice, Serbia
[2] Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia

Abstract: *The knowledge economy implies the application of Artificial Intelligence (AI) techniques in the agro sector. Existing solutions are primarily based on the rapid development of sensors and the collection of large amounts of data that primarily deal with the quantitatively measurable properties of soil, crops, mechanization, climate ... However, there are no AI & Data Mining scientific papers dealing with strategies for education and knowledge improvement of agricultural producers. In this paper, one such strategy (Strategy of Farmers' Education - SoFE) based on artificial neural networks (Artificial Neural Network - ANN) has been developed. One of the AI components of SoFE, which is presented in this paper, is the ANN pattern classifier. The developed ANN pattern classifier intelligently classifies agricultural households in the context of education. Validation of its performance was realized on the Case Study for the region of Zlatibor district in the Republic of Serbia. The ANN classifier is characterized by high classification power (75% - 93%) and the SoFE paradigm have the potential for further advancement and can play the role of a smart agricultural advisor in the implementation of an education management strategy in the agro sector.*

Keywords: *Neural network, Classifier, Agricultural education strategy (farmers' education).*

1. INTRODUCTION

Policies of optimal resource management in the agro sector have gained importance in the last decade, across the globe. The reasons are, among others, climate change, population growth and degradation of arable land caused by urban development, new technologies, but also with intensive food production. Knowledge in this field plays a crucial role, so there are a number of papers and studies related to this topic. Carrer et al. (2017) examined the determining factors in decisions of citrus farmers in Brazil on adoption of Farm Management Information Systems (FMIS). The data are modeled using logit and Poisson regression techniques. In order to assess the importance of education in the South Australian agricultural sector, Fielkea and Bardsley (2014) used a blended method to assess survey data that indicated education is strongly linked to positive socio-ecological outcomes, and has a key role in terms of the capacity and capability of people that are running small to medium agri-businesses to be able to adapt and be pro-active and to innovate. On the basis of data obtained from samples of 290 Iranian farmers in Torbat Heydarieh, Iran, Moayedi and Azizi (2011) performed correlation analysis and descriptive statistics, and establish that there is statically significant relation between all components of participatory management and effective agricultural extension education. Barrantes and Yagüe (2015), report the determined effectiveness and sustainability of an innovation process, understood as social learning, in a group of small farmers in the southern highlands of Peru.

Based on the above, it follows that the development of strategic management of education in the agro sector (Strategy of Farmers Education - SoFE), involves a whole range of essential knowledge from various disciplines as well application of current knowledge and informatics paradigms and technologies. Regarding the previous, existing systems based on conventional relational databases (Relational Database Management Systems - RDBMS), can be a strong basis for better decision making. For example, Eastwood et al. (2012), studied adaptation challenges of farmers using precision dairy decision support systems. However, Machine Learning (ML) algorithms, heuristics of Artificial Intelligence (AI) and Data Mining (DM) are an increasingly popular approach in the informatics dimension of the agro sector (Prasad et al., 2013). This is true, above all, for a large number of disciplines in agriculture in which modern sensor technology allows collecting increasing amounts of high-quality data. On the other hand, no studies that explore the use of such methods in the management of education of farmers can be found.

Given this gap in scientific literature, the aim of this paper was to develop, implement and test the classifier based on the Artificial Neural Network (ANN), as support in building a powerful SoFE platform.

The task of the classifier is to learn how to classify agricultural households in the context of education, according to the given criteria, based on the answers collected by the survey method.

Performance validation of the developed classifier was implemented in the case study for the region of Zlatibor District in the Republic of Serbia.

2. FEED-FORWARD ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The ANN classifier shown in this paper was developed on the basis of artificial neural networks. Artificial neural networks are mathematical paradigms that approximate the structure and operation of natural neural networks. These are computer systems made up of a large number of simple, processing elements or neurons. A special type of ANNs are feed-forward neural networks, which propagate signals from the input to the output layer. Neurons are connected by connections that are weighted by coefficients called weights. Schematic overview of a feed-forward ANN is given in Figure 1 (a),

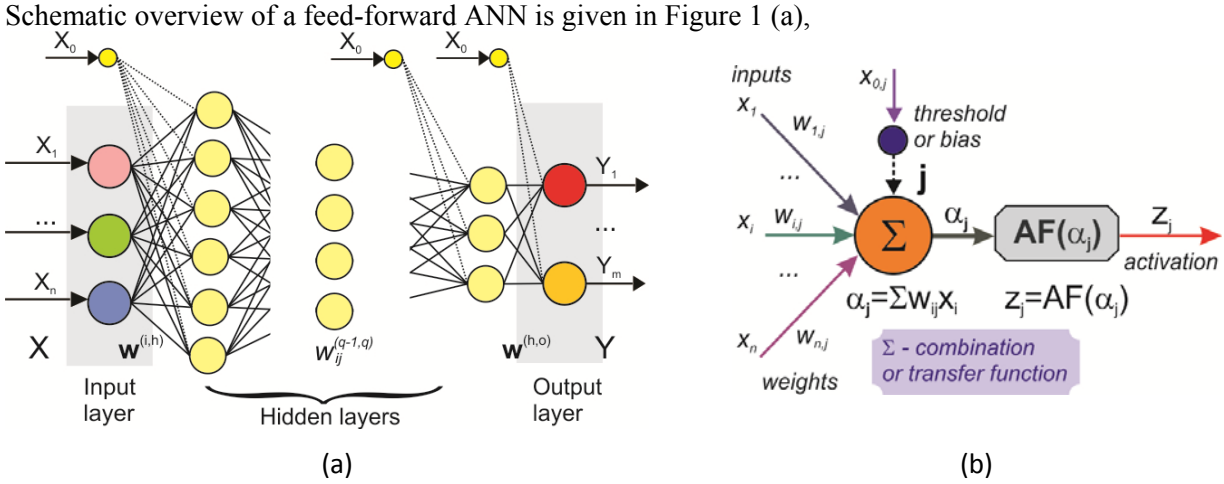
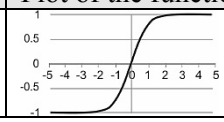


Figure 1: Structure of a feed-forward ANN (a), activation function (b)

where $\mathbf{X}$ denotes the vector of predictor variables, $\mathbf{Y}$ is the vector of dependent variables, $\mathbf{w}^{(i,h)}$ is the column matrix of weights between the neurons in the input layer and the neurons in the first hidden layer, and $\mathbf{w}^{(h,o)}$ is the column matrix of weights between the neurons of the last hidden layer and the neurons of the output layer. Total output $\alpha_j^{(q)}$ into the processing element j, which is in the q-th layer, is the sum of all weighted outputs $x_i^{(q-1)}$ from the previous layer (Figure 1b). When an input signal $\alpha_j^{(q)}$ passes through a neuron, it is processed and transformed into an output signal with the use of an activation function (Figure 1b): $x_j^{(q)} = AF(\alpha_j^{(q)})$.

Table 1: Activation function: hyperbolic tangent (TANH)

Name	Mathematical expression	Plot of the function
hyperbolic tangent (TANH)	$x_j^{(q)} = \dfrac{e^{2\cdot\alpha_j^{(q)}} - 1}{e^{2\cdot\alpha_j^{(q)}} + 1}$	

The goal of the learning process is to adjust the values of the weight coefficients to the values that ensure that the error function is minimal. Frequently used activation function are: Gaussian, log, sigmoid, bipolar sigmoid, sine, hyperbolic tangent (TANH). Their properties are given in detail in Milivojevic et al. (2012), and of the most commonly used, TANH, is given in Table 1. Numerous improvements are focused on ANN concepts related to ANN subtypes, ANN topology, architecture, activation functions, training algorithms (Backpropagation gradient descent algorithm – BPGD, Resilient propagation algorithm – RPROP, ADAM..) and numerous other parameters that adjust their performance for specialized purposes. Detailed explanations are given in [7-10].

3. MODEL SETUP

The developed Strategy of Farmers' Education model is shown in Figure 2. The model in spatial and temporal dimensions, using the IT platform (0), integrates a human with a dynamic iterative spiral, which continuously improves the knowledge and skills of agricultural producers and their skills in the field of agriculture. The spiral is composed of: Conditions (geographical suitability, development of communications, size of the estate, economic development of the area ...), Entities (socio-demographic characteristics of the population, educational status, organization of institutions dealing with education in the field of agriculture ...), Objectives (projected social objectives of the region, projected goals related to

households), Contents (existing and projected educational content, specific content related to the agro sector), Resources (regional financial resources as well as potential assets of each household) and Results (expected results at the republic, national, regional and personal development).

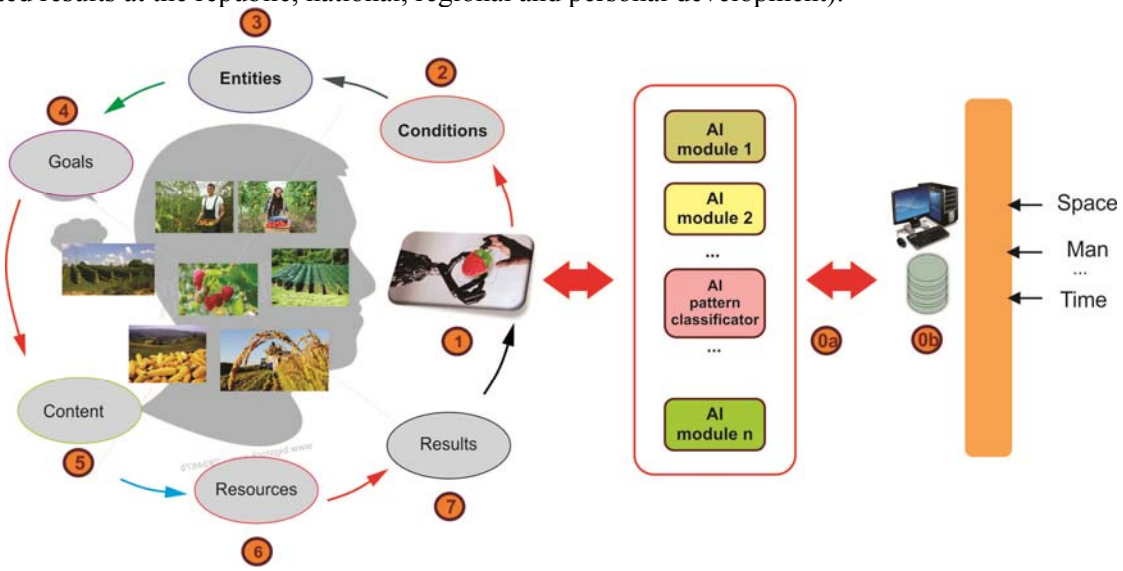


Figure 2: Model Strategy of Farmers' Education in the agro sector (SoFE)

Module, ANN pattern classifier (0a), based on the database (0b), which continuously complements new content, data and answers through various mechanisms (projects, studies, ...), continually learns (improves their knowledge), enabling, inter alia, an AI platform capable of doing the following for Agricultural households:

- classifying, as needed for additional education in the field of agricultural activities.
- classifying, into clusters that identify the specific types of training (fruit growing, farming, beekeeping ...)
- classifying, according to the possibility of real training in the field of agriculture for which they are interested.

The following sections describe the results generated by the developed ANN software module for the realized case study in the area of the Zlatibor district in the Republic of Serbia.

4. CASE STUDY

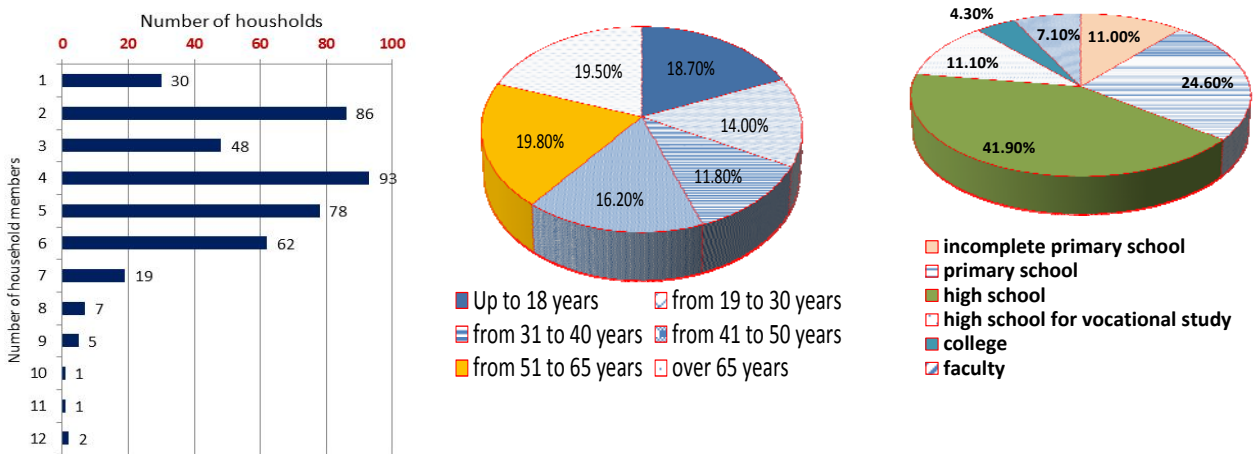
4.1. DATASET

A stratified sample was used for all ten municipalities of the Zlatibor district, which covers 6142 km^2. This district is the largest district in the Republic of Serbia, with ten municipalities that, according to the 2011 census, have 286549 inhabitants, which is 3.99% of the total population in Serbia. The survey covered 433 agricultural households with over 1000 members. The survey method was used to collect data. The survey covered 71 questions with the offered type of answers, which are structurally divided into the following units: municipality, age structure, educational structure, additional sources of income, way of placement of products, resources (land, mechanization ...), openness to new knowledge in the area of agriculture, interest in certain agricultural branches, attitude towards cooperatives, ways of acquiring new knowledge, infrastructure, investment, relation to potentials and development of rural tourism, ability to invest in new forms and production branches, etc. Over 25000 records were collected. The questionnaire is not displayed because of the volume.

4.2. ANN classifier. Results

Due to the categorical nature of the variables that reflect the answers to the questions from the survey, the statistical analysis included, above all, the application of non-parametric independence tests of individual predictors (tests are not shown due to volume), and histograms (Figure 3).

Input variables represent 67 questions from the survey conducted. As mentioned above, all variables are of a categorical nature and are coded according to the nature of the questions asked.



(a) (b) (c)

Figure 3: Elements of statistical analysis of categorical variables for the Zlatibor district, Republic of Serbia (a) Number of households by number of members (b) age structure (c) educational structure

The output variables represent questions given in Table 2.

Table 2: Questions representing the output variables for the training of the ANN classifier

Question №	Question	Given answers	Encoding
№. 8:	How do you assess whether you need additional knowledge for the work you do and for what areas?	Yes No Null	-1 1 2
№. 9:	Would you attend courses in your municipality (a few days) on improving agricultural production (in %)?	Yes No Maybe Null	-1 1 2 3
№. 10.1: №. 10.2: №. 10.3:	In your opinion, from which areas of agriculture would the most needed training be? *Note:* *10.1. Most needed training* *10.2. Needed training second by relevance* *10.3. Needed training third by relevance*	Livestock breeding Beekeeping Producing alc. Bev. (brandy) Fruit growing Vegetable growing Land farming Plant protection Collection of forest fruits Horticulture Soil irrigation	-1 1 2 3 4 5 6 7 8 9

The classifier was modeled using the software package SPSS ver. 24. In order to train the ANN classifier, the data (422 regular records) are divided into three subgroups in ratio 70: 15: 15 = Learning dataset-LDS: Validation / Holdout dataset -VDS): Test Sub-Test (Test dataset-TDS). Each output issue is modeled with a special network. ANN pattern classifier trained for Question no.10. ("What training is most needed") is shown in Figure 4.

Optimal network architecture and network parameters are determined by the *trial-and-error* method. The network has one input layer with 67 neurons (predictor questions), one hidden layer with 35 neurons and Hyperbolic tangent AF and a output layer with 24 neurons (degree and type of training in the field of agriculture) with Softmax AF that realizes the classification. Details of all networks, as well as the measures of quality obtained by the classifiers are shown in Table 3.

4.3. Discussion

The results shown in Table 3 show that the modeled and developed ANN classifier has enviable classification skills: 75.7 [%] for Question no. 9 or very high performance: 93.3 [%] and 88.9 [%] for questions no. 8 and no. 10, respectively. In addition to numerical indicators, the details related to the classification ability can also be shown using confusion matrices and ROC curves (Fawcett 2006). Thus, for example, on the basis of the confusion matrix, which corresponds to the ANN classifier for Question no. 8 (Figure 5a), see that for the Training-TDS data, the goodness of training is as follows: Of the 72 respondents

who answered "yes", 60 respondents were correctly classified, while for the remaining 12 there was an error (16.7%); Of the 237 respondents who answered "no", only 5 of them were wrongly classified (2.1%). Prediction ability (Testing-TDS) was particularly pronounced for respondents who answered "no", 39 subjects were correctly classified, while only 1 was wrongly classified (2.5%).

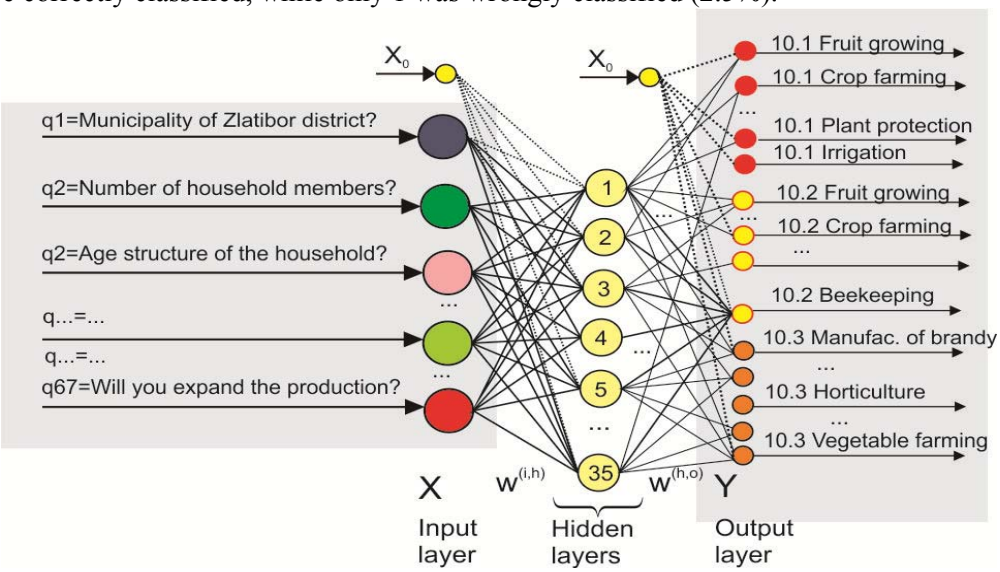


Figure 4: ANN pattern classifier for question no. 10.

Table 3: Parameters of the ANN classifier – ANN for questions no. 8 , no. 9 and no. 10.

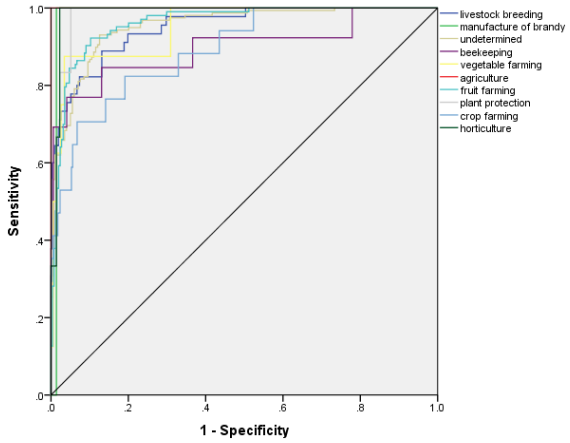
ANN		**Question no. 8**	**Question no. 9**	**Question no. 10**			
	Input layer no. of neurons	1/67	1/67	1/67			
	Number of hidden layers / no. of neurons per layer / activation function	1 /20/ Hyperbolic tangent	1 /20/ Hyperbolic tangent	1 /35/ Hyperbolic tangent			
	OUTPUT LAYER / no. of neurons in layer / Activation function	1/3/ Softmax	1/4/ Softmax	1/24/ Softmax			
	Error function	Cross-entropy	Cross-entropy	Cross-entropy			
Dataset				10.1	10.2	10.3	Average
LDS	Correct predictions [%]	**93.3**	**75.7**	**83.4**	**87**	**98.3**	**88.9**
	"Yes" [%]	83.3	84.3				
	"No" [%]	97.9	81.9				
	"Undetermined" [%]	0.0	0.0				
	"Maybe" [%]		61.2				
	Wrong predictions [%]	**6.7**	**24.73**	**18.6**	**13.0**	**1.7**	**11.1**
	Error (Cross Entropy)	69.189	187.707				316.954
TDS	Correct predictions. [%]	**86.5**	**71.2**	**83.4**	**79.6**	**96.4**	**82.1**
	Wrong predictions [%]	**13.5**	**28.8**	**28.6**	**21.4**	**3.6**	**17.9**
	Error (Cross Entropy)	24.879	37.586				113.469

The ROC curve for question 10.1 is shown in Figure 5 (b). On the vertical axis of the ROC diagram, the *sensitivity* represents the proportion of true positives in the total actual number of responses for the first class, and the false positive rate (1-*specificity*) (1-ratio of true negatives for the seconds class) is presented at the horizontal axes. A diagonal from the lower left corner to the top right corner would represent a model without classificatory utility. If the line is closer to the left upper corner, the model has a growing classification accuracy, since then the sensitivity is closer to the unit, and the rate of false positive is closer to zero. Thus, it can be seen that the ANN classifier more precisely classifies livestock training courses in crop farming training, or more precisely classifies livestock training in relation to beekeeping training (Question 10.1: Classification of training, first degree of priority).

Areas under ROC curves, ranging from 0 to 1, are the measurements of the model's ability to separate entities. Analysis of these areas, provided by the developed ANN classifier, are not shown due to the volume.

Sample	Observed	Predicted			Percent Correct
		Undetermined	yes	no	
Training	Undetermined	0	1	3	0.0%
	Yes	0	60	12	83.3%
	No	0	5	232	97.9%
	Overall Percent	0.0%	21.1%	78.9%	93.3%
Testing	Undetermined	0	0	2	0.0%
	Yes	0	6	4	60.0%
	No	0	1	39	97.5%
	Overall Percent	0.0%	13.5%	86.5%	86.5%

(a)



(b)

Figure 5: Confusion matrix (a) (Question no. 8) and ROC curve (b) ANN classifier for Question no. *10 – Most needed courses* (Source: SPSS.v.24)

5. CONCLUSION

In the development of the modern agro sector, knowledge has a dominant role, as confirmed by a large number of existing studies and scientific papers in the field of agriculture, which include the most diverse forms of AI heuristics and Data Mining algorithms. However, in the area of agricultural education, there are almost no published scientific papers, with AI and Data Mining paradigms as a backbone. Therefore, in this paper, a strategy of farmers' education has been developed (SoFE) with computer support as an integrative component. As an example of SoFE implementation, an ANN pattern classifier was developed, which in the context of education, based on the responses collected by the survey method, cleverly classifies agricultural households. ANN classifier was valorized through a Case Study, for the Zlatibor region, in the Republic of Serbia. Classification capability of the developed AI module is at a high level: from 76% to 93% correct predictions and its performance is shown by confusion matrices and ROC curves. SoFE paradigm and developed software have the potential for further advancement towards modern cluster techniques (k-Modes clustering) and can play the role of a smart advisor for education in agro domain. The results of the conducted research indicate that formation of a specialized training center for agro sector education is needed. The developed ANN classifier is an example of AI heuristics in the SoFE development model, which would smartly classify the training topics for a particular population class.

REFERENCES

[1] Barrantes, C., Yagüe, J. L., Adults' Education And Agricultural Innovation: A Social Learning Approach, Procedia - Social and Behavioral Sciences 191 (2015) 163 – 168.

[2] Beale, M.H, Hagan, M.T., Demuth, H.B., Neural Network Toolbox, User's guide, R2015a, 2015

[3] Carrer, M. J., de Souza Filho, H. M., & Batalha, M. O. (2017). Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. Comput Electron Agr,138, 11-19.

[4] Eastwood, C.R., Chapman, D.F., Paine, M.S., Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: case studies of precision dairy farms in Australia, Agr Syst 108 (2012), 10–18.

[5] Fawcett T., An introduction to ROC analysis. Pattern Recogn Lett 27, 8 (2006), 861–874.

[6] Fielkea, S.J., Bardsley, D.K., The importance of farmer education in South Australia , Land Use Policy 39 (2014) 301–312.

[7] Heaton, J., Programming Neural Networks with Encog3 in C#, Heaton Research Inc., http://goo.gl/Zo8k70 (accessed 3.6.2015), 2015.

[8] Looney, C.G., Pattern recognition using neural networks, theory and algorithms for engineers and scientists, Oxford University Press, 1997.

[9] Milivojevic, M., Stopic, S., Friedrich, B., Stojanovic, B., Drndarevic, D., Computer modeling of high-pressure leaching process of nickel laterite by design of experiments and neural networks, Int J Min Met Mater, vol. 19, no. 7, 2012., pp. 584-94.

[10] Moayedi, A. A., Azizi, M., Participatory management opportunity for optimizing in agricultural extension education, Procedia Social and Behavioral Sciences 15 (2011) 1531–1534

[11] Prasad, S., Peddoju, S.K., and Ghosh, D., AgroMobile: A Cloud-Based Framework for Agriculturists on Mobile Platform, International Journal of Advanced Science and Technology, 59 (2013): 41-52

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

A MILP/GP MODEL FOR RENEWABLE ENERGY PRODUCTION FROM BIOMASS POWER PLANTS USING FINANCIAL ANALYSIS: THE CASE OF GREECE

KONSTANTINOS PETRIDIS[1], EVANGELOS GRIGOROUDIS[1]

[1] School of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, costas.e.petridis@gmail.com
[1] School of Production Engineering and Management, Technical University of Crete, vangelis@ergasya.tuc.gr

Abstract: *One of the key elements of futures energy generation is the switch to non-depletable resources, the widely known, renewable energy sources (RES). There are many types of RES, however, the focus of this paper is on biomass products, which mainly consist of forest residues and industrial crops. One of the main problems of using biomass products for renewable energy production is the fact that several constraints should be imposed for both the management of forests and land. There are different aspects with respect to optimal management of biomass products that guarantee the sustainability of the ecological systems. In this paper, an analysis of the management for forest and agricultural products will be provided, demonstrating latest trends in biomass products as primal resource for renewable energy. Finally, a MILP/GP model for biomass supply chain will be described and proposed. Multiple solutions will be evaluated via financial analysis.*

Keywords: *Renewable Energy, Supply Chain network, Biomass, Goal Programming, Financial analysis.*

1. INTRODUCTION

The energy produced by renewable energy sources (RES) tends to substitute regular forms and methods of energy production. Renewable energy is a source that is not depleted irrespective of the use; solar, wind, hydro geothermal power and power produced from biomass (forest residues, industrial cultivations etc). The latter sources, can easily be depleted, as misappropriate can lead to deforestation (for forest products) and deplete substantial nutrients from the soil (for industrial cultivations). Greece has a competitive advantage due to the abundance of RES. However, the production, management, warehousing and transportation of forest and agricultural biomass products are subjected to constraints imposed by Greek law. Except for the latter set of constraints that are imposed by law, there are natural constraints for forest and agricultural management.

1.1. Theoretical background

The switch to energy production from RES started the last decade in Greece and reached a peak over the last years. The reasons of this increase in energy production from RES units (photovoltaic panels, wind farms, biomass units, hydroelectric units from dams and geothermal units) is partly ought to economic recession but is also attributed to European Directives stating that by year 2020, 20% of the total energy produce by each EU country should be produced from RES (Zografidou, Petridis, Arabatzis, & Dey, 2016), (Zografidou, Petridis, Petridis, & Arabatzis, 2017).

The study of energy production from biomass should be combined with an interdisciplinary approach that is focused on economic, social and environmental aspects. In order to model the location of biomass power plants then the problem should be decomposed into the following stages, namely the production, the warehousing and the transportation. The resulting model provides levels of decisions regarding the quantities of biomass produced (forest and agricultural), warehoused into special conditions and finally delivered to the end-user, the biomass plant in order to satisfy demand for energy consumption. As the analysis is not approached based on a single criterion (maximization of profit or minimization of cost) but is also based on social criteria (unemployment and GDP of each prefecture, social acceptance of the venture etc) and environmental (CO_2 emissions avoided etc), the resulting formulation is a Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming (MO-MILP) model. Even if the problem of biomass units selection and allocation has

been extensively analyzed using Multi-Objective Programming (MOP) or Multi-Criteria Decision Making (MCDM) model (Afgan & Carvalho, 2002) (San Cristóbal, 2012), no single mathematical model has been proposed that integrates mathematical sub-problems corresponding to each of the stages of the procedure, namely production (scheduling problems), the management and processing of biomass products, that include operations like warehousing, and finally the transportation to each biomass plant.

The proposed analysis is schematically represented in Figure 1.

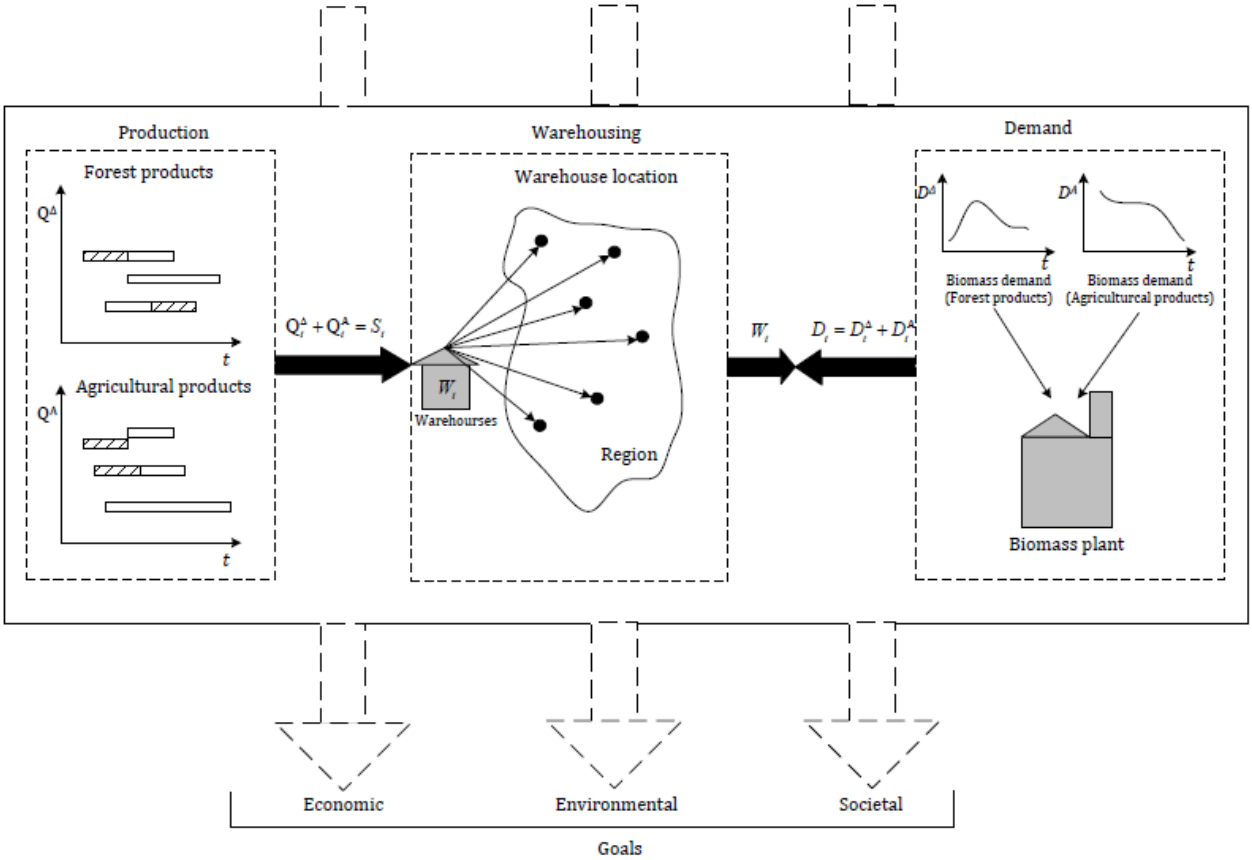


Figure 1: Schematic representation of the proposed analysis

2. METHODOLOGY

2.1 General overview

The procedure resembles that of a typical production line and a supply chain network design. In the first stage there is the production of biomass plants where using scheduling Linear Programming models (LP), the optimal biomass quantities from forest residues (Galatsidas, Petridis, Arabatzis, & Kondos, 2013) and industrial cultivations (Zafeiriou, Petridis, Karelakis, & Arabatzis, 2016) that will be produced under sustainability constraints are formulated.

The following stage concerns the logistics and supply chain network design. The quantities produced from the first stage will be transferred to warehouses and will be stored in special conditions (low humidity). The resulting model is a MILP for the selection of facilities and corresponding network structures (Petridis, 2015), (Grigoroudis, Petridis, & Arabatzis, 2014).

Finally the quantities are transported to biomass power plants in order to satisfy demand. Forecasting models are examined to calculate projected values of demand in the future (Zografidou, Petridis, Petridis, &

Arabatzis, 2017). Due to the fact that di erent targets are examined in this model, a 0 − 1 weighted model is formulated.

2.2 Goal programming formulation

A general formulation of the proposed 0 − 1 weighted GP-MILP model is the following:

$$\begin{aligned} &\min\ w_1 \cdot \frac{d^-}{G_1} + w_2 \cdot \frac{d^+}{G_2} + w_3 \cdot \left(\frac{d^- + d^+}{G_2} \right) \\ &\quad s.t. \\ &\quad A \cdot x + d^- - d^+ = G_i,\ i = 1,2,3 \\ &\quad C \cdot x + D \cdot y \le g \\ &\quad x \ge 0,\ y \in \{0,1\} \end{aligned} \tag{1}$$

In formulation (1) the objective function minimizes the deviations (d^-, d^+) from the goals (G); x represents the continuous variables of the model (quantities produces and transported throughout the supply chain) while y are binary variables corresponding to decisions regarding the selection of a facility or a connection between nodes. In the objective function of 1, weights are complementary, thus $w_1 + w_2 + w_3 = 1$. Changing the values assigned to the weights lead to di erent representations of solutions. Assuming that the set of possible solutions is denoted with $s = 1,...,SC$ for each time period t, then the optimal values of the proposed model are the following (for continuous variables) $x^*_{s,t}$.

2.3 Assessing solutions using financial analysis

A parameter that drives production is demand. Therefore, using forecasting techniques, future values for demand can be calculated. For large ventures like the one described in this paper, the Net Present Value (NPV) index is used as described below:

$$NPV^s = \sum_{t=1}^{T} \frac{\left(p - [\tau + c]\right) \cdot x^*_{s,t}}{(1+r)^t} \tag{2}$$

The NPV is calculated for di erent scenarios of tax (τ), price (p) and interest rate scenario (r). Internal Rate of Return (IRR) is also calculated.

3. CONCLUSIONS

Renewable energy attracts a lot of attention due to zero CO2 emissions. The use of RES for energy production is not a task that should be examined based on a single criterion as multiple stakeholders are involved (society, environment). Also, for the specific case of biomass, additional constraints should be used for the sustainability of biomass products (forest residues and industrial crops). The resulting model is a 0 − 1 weighted GP MILP model. Using forecasting techniques, future demand values are calculated; based on the aforementioned values, financial indices are calculated for various weight representation, price, and tax scenarios.

Acknowledgement

Financial support for Konstantinos Petridis from “IKY fellowships of excellence for postgraduate studies in Greece – Siemens Program, 2015-2016” is gratefully acknowledged.

REFERENCES

Afgan, N. H., & Carvalho, M. G. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, *27*(8), 739–755.

Galatsidas, S., Petridis, K., Arabatzis, G., & Kondos, K. (2013). Forest production management and harvesting scheduling using dynamic Linear Programming (LP) models. *Procedia Technology*, *8*, 349–354.

Grigoroudis, E., Petridis, K., & Arabatzis, G. (2014). RDEA: A recursive DEA based algorithm for the optimal design of biomass supply chain networks. *Renewable Energy*, *71*, 113–122.

Petridis, K. (2015). Optimal design of multi-echelon supply chain networks under normally distributed demand. *Annals of Operations Research*, *227*(1), 63–91.

San Cristóbal, J. R. (2012). A goal programming model for the optimal mix and location of renewable energy plants in the north of Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(7), 4461–4464.

Zafeiriou, E., Petridis, K., Karelakis, C., & Arabatzis, G. (2016). Optimal combination of energy crops under different policy scenarios; The case of Northern Greece. *Energy Policy*, *96*, 607–616.

Zografidou, E., Petridis, K., Arabatzis, G., & Dey, P. K. (2016). Optimal design of the renewable energy map of Greece using weighted goal-programming and data envelopment analysis. *Computers & Operations Research*, *66*, 313–326.

Zografidou, E., Petridis, K., Petridis, N. E., & Arabatzis, G. (2017). A financial approach to renewable energy production in Greece using goal programming. *Renewable Energy*, *108*, 37–51.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ASSESSMENT OF THE INSTITUTIONAL FRAMEWORK OF E-GOVERNMENT IN THE REPUBLIC OF SERBIA

SVETLANA JOVANOVIĆ[1], MIHAILO JOVANOVIĆ[2]

[1] University of Belgrade-Faculty of Organizational Sciences, jovanovic.svetlana@fon.bg.ac.rs
[2] Delivery Unit, Office of the Prime Minister, mihailo.jovanovic@gov.rs

Abstract: *This paper is presenting the analysis of the ICT resources in the administration bodies of the Republic of Serbia. The typical functions that an eGovernment institutional framework entrusted with the implementation of eGovernment is expected to perform are given, as well as the model of Executive eGovernment Agency within the civil service. The Agency is positioned under the Head of the Government's Office and is responsible for the formulation and implementation of the national eGovernment policy and its corresponding action plans in a wide range of domains. The advantages and disadvantages of this model are explained. The Government Office for eGovernment, as another option, is proposing like an office for professional or technical support.*

Keywords: *eGovernment, Institutional Framework, ICT infrastructure.*

1. INTRODUCTION

Serbia is acknowledged to have made progress in eGovernment in recent times as reflected, among others, in an improvement of ranking from 81 in 2010 to 17 in 2016 in the UN eGovernment rankings [1][2]. However, there are large gaps that still remain in the implementation of the national eGovernment Development Strategy (2009-2013) [3] and another one for period 2015-2018 [4]. A principal challenge is the lack of an adequately empowered institutional framework to take ownership of the implementation process as a whole to make it an all-Government effort.

The Government of Serbia has decided to pursue a comprehensive approach to develop eGovernment to reap the following benefits. In the IMMEDIATE TO SHORT TERM, to bridge any information gap between the government and its constituencies, lay foundations of coordinated ICT-enabled service delivery and bring basic conveniences to citizens' doorsteps. This will include, though not be limited to, the following:

- ”One stop shop” access to meet all common informational requirements of citizens and businesses at one place;
- Enable increased transparency of the government services for example improved tracking and transparency of the construction permit related processes
- Stronger integration with the EU and accelerated inclusion of Serbia into key EU Digital Agenda 2020 related processes
- Operational savings and improved business environment through the development of G2B services o Installing the required ICT storage and network infrastructure to connect all entities of the Government of Serbia; and
- Making available priority services sought by citizens and businesses on an ANYWHERE, ANYTIME basis.

In the MEDIUM TERM, to reduce inefficiencies in internal workings of government, bring transparency and accountability to its processes, and offer citizen-centric services at par with some of the developed countries of the world. This will comprise, among others, the following:

- Putting in place an elaborate service delivery infrastructure that will ensure government services are available to everyone in the most inclusive manner possible;
- Re-engineering, codification and standardization of all government processes to ensure that internal working of the government is the most efficient possible;
- Enabling the accelerated development of the ICT sector in Serbia; and
- Putting in place elaborate service delivery norms and benchmarks on various parameters of customer convenience (for example, time taken to access a particular service, channels in which services would be available, grievance redressal if the promised norms are breached and the like).

In the LONG RUN, to bring about a complete transformation of governance in tandem with public administration reform initiatives, bring about connected governance and thereby make it possible to achieve economies of scale in its working even as citizen convenience is maximized. This will primarily imply, though not be restricted to, the following:

- Realizing "One Government" through complete collaboration among different entities of the Government to make all services available through common unified interfaces;
- Bring about economies of scale and cost-reduction through sharing of applications, data, infrastructure and manpower resources among ministries and other units of the Government;
- Ensuring that all eGovernment efforts are in tandem with the larger public sector reform initiatives being pursued by the Government; and
- Maximizing citizen-convenience by providing end-to-end ICT-enabled service delivery on promised service delivery norms and benchmarks. o The "e" in eGovernment should disappear as it is "Government" much more so than technology ("e") at the core of eGovernment.

2. THE ANALYSIS OF THE ICT RESOURCES IN THE STATE ADMINISTRATION BODIES

At the end of 2016 the Directorate for electronic administration, at that time a part of the Ministry of state and local administration, prepared the Report about software applications used in the state administration bodies, as well as the list of ICT equipment present in these bodies. The Report included 82 state administration bodies and 425 software applications that were in use. This survey was supposed to point to the direction of further development of eGovernment in the Republic of Serbia, primarily with respect to scale and cost of usage of different software and hardware.

Software applications entailed by this report have been developed in a period between 1980 and 2015. The development of 54.94% of these applications began between 2009 and 2015. The development of 6.75% of software applications is still in progress.

The development of 39.43% of software applications had been done by personnel within state bodies, while 46.84% of these applications had been developed by external companies. The software applications developed by a combined team represent 6.10% of the total number of applications, while 1.96% of the applications were developed by a different state body than the one intended to use specific application.

Project-technical documentation in 61.66% cases is located within the state body that uses specific software application, while in 24.62% cases project documentation is with external company. Documentation for 1.96% of the software applications is in different state body than the one intended to use specific application, while the location of the 11.76% of the project-technical documentation for software applications is unknown.

In 39% cases the state body doesn't own the source code of the software application, while in 53.16% cases they do.

The number of locations where software is in use significantly varies from application to application, so the largest number of locations is 10 000 and the lowest is only one location. The number of usage locations is known for 383 software applications, or 83.44% of the total number of software applications covered by the Report, and the total number of locations for those software applications is 20,142. The total number of users varies from application to application, so the largest number of users is 29,500 and the lowest is one user. The number of users is known for 379 software applications, or 82.57% of the total number of software applications covered by the Report, and the total number of software application users is 395,382.

252 software applications, or 54.90%, are client – server, while 169, or 36.82%, is client – web.

51.20% of software applications are operational 24/7, while 44.23% of applications work only during working hours of the state body.

The primary purpose of the software is known for 66.23% of the software applications covered by examination, out of which:

- G2G – 47.93% of software applications is intended exclusively for other state institutions
- G2B – 5.45% of software applications is intended exclusively for the sector of economy
- G2C – 5.01% of software applications is intended exclusively for citizens
- G2G + G2B + G2C – 2.61% of software applications is intended for everyone – state institutions, economy and citizens,
- G2G + G2B – 1.31% of software applications is intended for state institutions and the economy
- G2G + G2c – 3.49% of application software is intended for state institutions and citizens
- G2B + G2C – 0.44% of application software is intended for the economy and citizens.

The maintenance of the software exists in 74.95% cases, while in 14.81% cases the applications don't have maintenance. The maintenance in 65.12% cases is being done by internal resources, in 2.03% cases the maintenance of the software application is being done by the ICT support of an another state body, while in 32.27% cases the maintenance is being done by the external commercial software support.

The operational system. In 65.58% cases the operational system is subject to licensing. The operational system is not subject to licensing in 18.52% of the applications covered by the Report. 86.13% software has a permanent license, while 9.85% is licensed for a certain period of time. The usual vendors are Microsoft (57.14%), Oracle (10.96%), IBM (5.65%), HP (1.66%) and the Red Hat (1.66%). 37.96% of the licensed software is within the period of maintenance. In 65.14% cases in the state body there are trained employees for maintenance of the software, in 3.27% cases the backup of another state body is being used, while in 11.76% external commercial support is used.

Data base. The usual data bases in which the operations of the software are based are Microsoft SQL (29.19%), Oracle (23.09%), MySQL (5.23%) and Microsoft Access (4.79%). At least 57.73% of the data bases are subject to licensing, while at least 16.34% are not. The answer wasn't submitted for 25.93% of the databases. Microsoft and Oracle together represent the vendors of the 95.20% of the applications for which the answer about the name of the database vendor was given. Considering that the answer to this question about the vendors was given for 54.47% of the software applications, this means that Microsoft and Oracle together represent the vendors of at least 51.85% of the databases of all applications covered by the Report. 82.13% of the databases have permanent license, while 14.45% is licensed for a certain period of time. 65.78% of the licensed databases are not within the maintenance period, while 30.42% of the databases are. In 64.17% cases in the state body there are trained employees for maintenance of used software, in 11.98% cases external commercial support is being used, while in 2.18% cases the support of another state body is being used.

Primary development tools for software applications in 43.79% cases are subject to licensing. The usual vendors for primary development tools subject to licensing are Microsoft, Oracle and IBM, who together make for 84.08% of vendors for these primary development tools. Licensed primary development tools in 80.43% of cases have a permanent license, while in 15.76% these tools are licensed for a certain period of time. 40.76% of licensed primary development tools are within the period of maintenance, while 48.37% are not. In 64.49% cases in the state body there are trained employees for maintenance of the mentioned software, in 12.85% cases the support of a external commercial firm is being used, while in 1.96% cases the support of another state body is being used.

Communicational infrastructure for software operations. 30.07% of the software uses for its operations UZZPRO/ network of the state bodies as a communicational infrastructure. 9.80% of the software uses for its operations, besides UZZPRO/ network of the state bodies, other networks, usually LAN. 44.01% of the software uses exclusively other networks, outside of communicational infrastructure of the UZZPRO/ network of the state bodies.

Hardware. 59.59% employees have desktop computers, lap-top computers are provided for 5.75% of users, and tablet computers for 0.26% employees. In average 3.47 employees use one printer, while 22.48 employees use one scanner.

These results, based only on the data from the state administration bodies, point out that the development of software solutions and purchase of the equipment was done without a plan, and that the further development and maintenance of such systems by the state sector is nearly impossible. That is why the further analysis of the institutional solutions for eGoverment was focused on centralization and forming of a new body that will systematically deal with this issue.

3. FUNCTIONS TO BE PERFORMED BY AN EGOVERNMENT INSTITUTIONAL FRAMEWORK

One of the key foundational initiatives the Government has decided to take up is to put in place a comprehensive institutional framework for eGovernance in Serbia, widely acknowledged as one of the main reasons for shortfall in the implementation of the Action Plan.

Table 1 represents the typical functions that an eGovernment institutional framework entrusted with the implementation of eGovernment is expected to perform.

Table 1 Principal Functions of an eGovernment Institutional Structure

Function	Description

Development of eGovernment Strategies	This implies developing a national vision for eGovernment and developing strategies to realize this vision, including an action plan for its implementation
Development of an eGovernment Policy	This entails establishing a unified eGovernment policy for all entities involved in public administration, including policies and objectives related to the use of information resources within the Government
Putting in place a legal foundation	This means establishing a legal framework for eGovernment and followingup on the necessary decrees, laws, and regulations needed for the achievement of strategies
Formulating Standards, Frameworks and Guidelines	This implies formulating and ensuring compliance with standards, frameworks and guidelines for eGovernment efforts being pursued in the different entities of the Government (ministries, departments and other agencies); by extension this would also including alignment with regional or international standards, frameworks and guidelines to enable full compatibility locally and internationally
Performing Monitoring and Evaluation	This includes designing and executing a comprehensive monitoring and evaluation of all eGovernment efforts earlier agreed upon; by extension this would also include making any course corrections required in the implementation process.
Undertaking Research and Innovation	This involves exploring and evolving new ways of discharging eGovernment functions in a more efficient and cost-effective way keeping in mind the developments in this space globally across other countries of the world successfully practicing eGovernment
Promoting eGovernment awareness and adoption	This includes spreading awareness of the need for and efficacy of ICT, and taking up initiatives that would encourage the adoption of ICT in the economy and in society in general and in availing of eGovernment services in particular.
Steering Implementation of eGovernment	This includes taking complete ownership and responsibility for implementing eGovernment in the country through various interventions; by extension this also includes involving the topmost levels of the political and executive to take their ownership in eGovernment implementation.
Making available all shared Infrastructure, applications, expertise and resources required for implementation	This implies taking responsibility for ▪ All shared infrastructure including a Data Centre, ICT Networks, Service Delivery Infrastructure, eGovernment Helpdesks/Call Centre and the like; ▪ Making available expertise as and when it is required to government agencies that implement eGovernment; ▪ Making available all applications that can be shared across the different organs of the Government; and ▪ Making available such manpower resources as can be shared across the various agencies of the Government.
Becoming the official representative of eGovernment	This implies representing eGovernment within the country and beyond, including working as the single point of contact in all eGovernment exchange interventions that are taken up.
eGovernment Funding Management	This implies making periodical funding requests to the government for implementing eGovernment in the different government entities of the Government and the management of such funds when they are received; by extension this also includes identifying new sources of funding for eGovernment and making recommendations for the same.
eGovernment Procurement Management	This implies the management of all procurement activities necessary to implement eGovernment in the country including procurement of all eGovernment goods and services required; by extension this also includes the identifying and managing all

	activities of the Government that could be outsourced to agencies outside the Government.

One of the proposed models is forming Executive eGovernment Agency within the civil service. Under this model (Figure 1), a dedicated executive ICT agency is created within the civil service, often under the Head of the Government's Office and is responsible for the formulation and implementation of the national eGovernment policy and its corresponding action plans in a wide range of domains. The Agency is charged with developing mechanisms to encourage all stakeholders and key players to become involved in issues and to exchange information, experience and best practices through focus groups, workshops, seminars and online tools. The Agency coordinates and monitors the implementation of eGovernment, often under the overall supervision of a Council and possibly a Committee for eGovernment. The Agency may also serve as a secretariat to these bodies. The chief of the Agency is designated the national CIO.

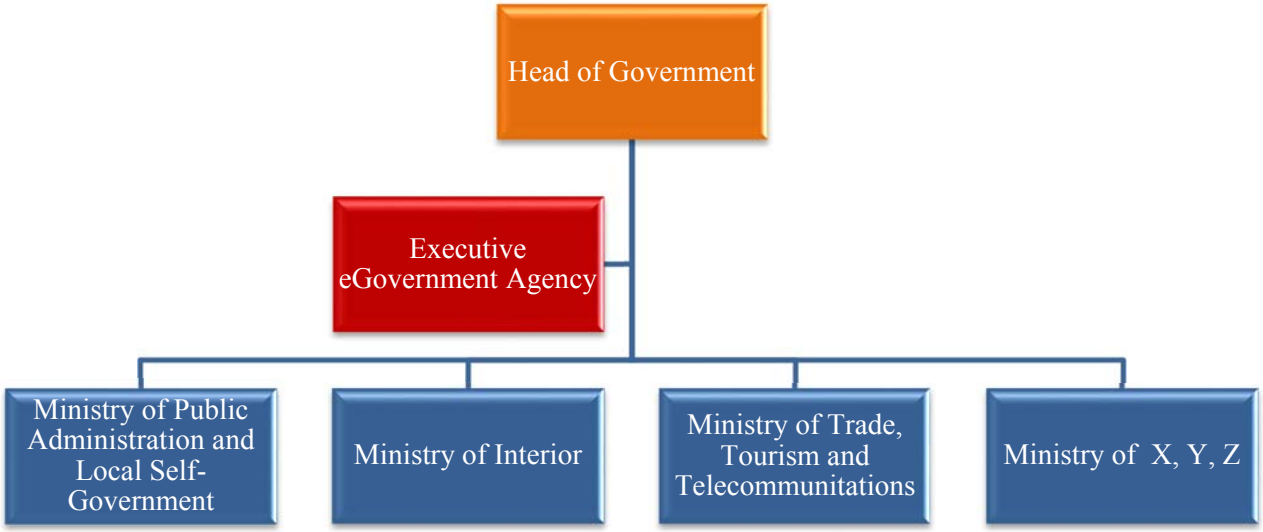


Figure 1 Institutional Framework for eGovernment- Shared Responsibility among Ministries

In order to be successful, such an agency needs to be led by experienced ICT managers, who may be loaned from other government departments, or hired from private sector. To attract scarce ICT policy and consulting skills and enable such a cadre to lead eGovernment, ICT agencies often require special incentives and career schemes—often beyond those prevailing in the civil service. This model fits small countries with relatively advanced civil service. It is also advisable for the Agency to have strong ties to an existing powerful ministry and draw on representatives of other key stakeholders as well.

Advantages: The main advantages include the following:

- The ICT agency can provide a focal point for resource mobilization from government, donor agencies and private sector and, therefore, helps align funding with overall government priorities.
- The association with the Head of the Government also gives it the necessary political weight and reduces any conflicts ensuring that the implementation is smooth.

Disadvantages: The main disadvantages include the following:

- The creation of new government agency involves incremental costs, at least in the short-term, to cover the set-up costs of a new agency.
- Concentration of policy, operational and monitoring functions in one body may at times create conflict of interests.
- A totally new entity would also struggle to obtain necessary political weight and resources.
- There are limitations of civil service to attract and motivate high calibre staff for the new agency.

Another option is a Government Office for Information Technology and Electronic Government. This body may be established by a government's regulation in accordance with the Art. 31 of the Law on Government which specifies that the government may establish an office for professional or technical support to be provided to the government or to a number of different state administration organs with shared tasks.

The management, organization, financing etc. of a government office is regulated in the same way the state administration organs are regulated. Furthermore, a government office is headed by a director who reports directly to the Prime Minister. The director of a government office is appointed by the government at Prime Minister's suggestion if such director reports to the Prime Minister otherwise such director may be appointed at the General Secretary's suggestion. The Prime Minister may delegate his powers related to the director of a government office to a vice-prime minister.

A government regulation by which a government office is established should regulate the responsibilities, organization and other questions important for the functioning of the office and name such office. The director of the office enacts Internal Rules for the internal organization and systematization of employees and he or she may have deputies and assistants. The director of the Office of eGovernment would be appointed by the government at Prime Minister's suggestion if such director reports to the Prime Minister otherwise such director may be appointed at the General Secretary's suggestion. The Prime Minister may delegate his powers related to the director of a government office to a vice-Prime Minister.

A government regulation by which a government office is established should regulate the responsibilities, organization and other questions important for the functioning of the office and name such office. The director of the office enacts Internal Rules for the internal organization and systematization of employees and he or she may have deputies and assistants.

5. CONCLUSION

eGovernment in Serbia is at present at its initial stages and primacy must be given to establishing the ICT infrastructure required. It is necessary to have the topmost political levels involved in the exercise not only to minimize potential conflicts between ministries but also to convey top level commitment. eGovernment implementation has to be re-invigorated without much delay and existing institutions need to be re-used. It is necessary also to have coordinated approach to eGovernment as against a silo-based approach. Necessary alignment measures must be put in place with the overall governance process reform initiative. Resources are scarce and it is a must that not only is the best talent attracted for eGovernment but is also retained. For sustained push to eGovernment it is necessary to insulate the institutional framework against political developments.

REFERENCES

[1] UN. (2010). United Nations E-Government Survey 2010: Leveraging e-government at a time of financial and economic crisis. New York

[2] UN. (2016). United Nations E-Government Survey 2016: e-Government in support of sustainable development. New York

[3] Ministry of Telecommunitations and Information Society. (2009). Strategy on Development of Electronic Government in the Republic of Serbia for the Period 2009-2013. Belgrade

[4] Ministry of Public Administration and Local Self-Government. (2015). Strategy on Development of Electronic Government in the Republic of Serbia for the Period 2015-2018. Belgrade

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

RESIDENTAL ATTRACTIVENESS OF THE CITIES AND TOWNS

KRISTINA PAJIĆ[1], GORDANA SAVIĆ[2], MARIJA KUZMANOVIĆ[3]

[1] University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, kpajic68@gmail.com
[2] University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, gordana.savic@fon.bg.ac.rs
[3] University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

Abstract: *This paper tries to assess the attractiveness of the cities/towns as places of residence in the Republic of Serbia. For that purpose two input-output scenarios are created: financial and mixed financial-health efficiency scenario. Both scenarios are assessed using suitable Data Envelopment Analysis models and results in cities/towns attractiveness comparison and analysis of the most influential factors. These results could be used as directions for the public demography policy makers.*

Keywords: *places of residence attractiveness, efficiency assessment, Data Envelopment Analysis.*

1. INTRODUCTION

Residential attractiveness is a relatively new concept coming from a territorial development paradigm based on competitiveness and public policies in order to restore the social mix by an inverted social diversification. Residential attractiveness is progressively becoming a central feature of public policy in renewal processes for declining cities (Miot, 2015).

In Serbia, cites and whole regions faces the demographic crises – number of citizens decrease dramatically. This trend is particularly evident if we look younger population under year of 40. Young people largely move to bigger cities/towns for education and stay there to live. A very few of them wish to take back to hometown after graduation. The questions are: which factors are crucial for the young people to choose acity/town as place of residence – is it financial stability, cultural and entertainment offers, possibilities for employment or health environment and less busy life? This aspect of cities/towns' efficiency and attractiveness is in the focus of this paper. Another aspect of the analysis is to identify perspectives and preferences of residents towards chosen criteria.

The attractiveness of the sites depends on several criteria. Residents wish to have high standards and demanding the best for themselves. They put the pressure on the government to invest in cities/towns, in order to remain competitive. On the other hand, competition stimulates the differentiation of towns, in the term of the size of the city/town, the price of renting and buying housing, the price of the consumer basket, the average monthly income per household, the cultural and entertainment content, the pollution rate, crime rate, affordability of health and education services, relations between neighbours, etc.In order to include several criteria into analysis simultaneously, the authors introduce Data Envelopment Analysis (DEA) as a technique for attractiveness evaluation from the aspect of the cities/towns' efficiency.

The paper is organized as follows. The Section 2 gives literature review, while Section 3 describes a problem of regional mapping of Serbia, and choosing regional capital cities/towns forefficiency assessment, together with criteria selection. Afterwards, Section 4 gives results and discussion followed by conclusions.

2. LITERATURE REVIEW

Although the problem of economic and non-economic efficiency of cities, countries and regions has been heavily studied in literature over the past 30 years, it still remains an interesting topic of research. With regard to the measuring method, the models applied most often in these studies are DEA-related models.

Most previous studies related to regional efficiency focus on environmental or energy efficiency, which implies that economic-related dimensions are their primary concern.Most of those studies focus on China, while others focus on countries such as Taiwan, the United Kingdom, French, Italy, United States, Finland, Spain. Other dimensions of regional efficiency, such as police, education, healthcare, and fiscal, have been studied, but are evaluated independently (Chen, 2017). In recent years, tourism has become an increasingly analyzing dimension when it comes to regional efficiency (Solana-Ibáñez, Caravaca-Garratón, & Para-

González, 2016; Suzuki, Nijkamp, & Rietveld, 2011). However, several studies include multi-activity overall efficiency analysis (Rabar, 2013; Alfonso Piña & Pardo Martinez, 2016; Chen, 2017)

The first application of the DEA method to regional economics were made by Charnes et al. (1989). Authors studied the economic performance of 28 China's cities in 1983 and 1984. Chang et al. (1995) used DEA and the Malmquist productivity index approach to study the economic performance of 23 regions in Taiwan in 1983 and 1990. Bernard and Cantner (1997)calculated the efficiency of the 21 French provinces in 1978-1989. Maudos, Pastor and Serrano (2000) analyse the relationship between efficiency and production structure in Spain 1964-93. Martić and Savić (2001) used DEA to estimate how well regions in Serbia utilize their resources. Loikkanen and Susiluoto (2002) estimated private sector economic efficiency scores for 83 Finnish regions in 1988-1999 using DEA method. To identify and decompose the efficiency of 439 German regions in using infrastructure and human capital, Schaffer et al. (2011) applied an outlier robust extension of DEA followed by a geoadditive regression analysis, and find out that the regions' efficiency is driven by a spatial and a non-spatial, arguably structural factor. Staníčková and Melecký (2012) analyse the degree of efficiency achieved in individual countries and regions of Visegrad Four (V4), which is perceived as a reflection of the development potential in the reference period 2000–2010. They offer a comprehensive comparison of the results obtained using the selected DEA models, namely the CCR model, BCC model and SBM.

Halkos and Tzeremes (2013) examines the link between regional environmental efficiency and economic growth in the United Kingdom using the directional distance function. Yin et al. (2014) applied DEA to eco-efficiency analysis using environmental pollution as an undesirable output. They propose a modified super-efficiency model for eco-efficiency discrimination and ranking 30 Chinese provincial capital cities. Wang et al. (2015) used DEA to examine the environmental protection mechanisms and economic development of 211 cities in China from an environmental efficiency perspective. They found that local governments should develop appropriate policies to maximize the use of technology and develop management practices that enhance both growth and protection. Alfonso Piña and Pardo Martinez (2016) estimated and evaluated the environmental, social, and economic efficiency of cities in Columbia using DEA, in order to determine the changes that occurred between 2005 and 2013. The results indicate differences among cities, where the efficient cities show adequate resource use, lower environmental impacts, improved social conditions, and guaranteed economic growth and development.

Recently, Chen (2017) proposed a MADEA model to simultaneously evaluate the departmental and overall efficiency in Taiwan's cities. He included data on the economic development, social welfare, police and security, and education departments for 20 cities in Taiwan for the period 1999–2013. He also applied the ML index and its decompositions to calculate the productivity changes in each department, as well as the overall productivity of a region. Another recent study in which DEA was used to measure eco-efficiency is shown in (Masternak-Janus & Rybaczewska-Błażejowska, 2017). The authors examined regional eco-efficiency as an approach to promote the sustainable transformation of regions of Poland.

To our knowledge, several studies regarding quality of life in Serbian cites are done. Petrić (2013) made research of residential preferences to cites from demographic point of view. Mirkov (2016) analysis quality of life based on subjective estimated of the citizens.

3. METHODOLOGY

Designing of the performance measurement system assumes taking into account both financial and non-financial indicators. These indicators effect business system key activities (Kaplan & Norton, 1996). Neely, Gregory and Platts (1995) define the performance measurement system as "a set of metrics that allows qualification to efficiency and effectiveness of action". Performance of the process-oriented system is based on the principle of maximum rationality, which means that the minimum amount of resources are used to achieve the maximum result (output) (Kahirović, 2013). One of the synthetic performance measures that is often used is efficiency. Efficiency is the ratio between the results (outputs) and the inputs (resources). The aim is to maximalresults with given inputs or to minimize inputs for given outputs. That means that process of input-output transformation is seen as black box and in the case of one input used for producing one output, efficiency is measured as their ratio (efficiency = input/output). But in the real-world application, efficiency depends on several input and output criteria and efficiency is calculated as the ratio of the sum of the weighted outputs and sum of weighted inputs. Usually, observed inputs and outputs are various in the term of the measures and ranges. This means that efficiency evaluation requires normalization and a priori weight and production input-output function form determination in the case of set of decision making units (DMUs) comparison. In order to avoid these problems, Charnes, Cooper and Rhades (1978) introduced Data Envelopment Analysis (DEA) as nonparametric technique for assessing efficiency of a set of *n* observed

DMUs. Suppose that $\mathrm{DMU}_j (j = 1, \dots, n)$ uses inputs $x_{ij} (i = 1, \dots, m)$ to produce outputs $y_{rj} (r = 1, .., s)$. Input-oriented DEA model is as follows:

$$(\max) h_k = \sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rk} \tag{1}$$

s.t

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \tag{2}$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0, \qquad j = 1, \dots, n \tag{3}$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \tag{4}$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, r \tag{5}$$

whereh_k is the relative efficiency of DMU_k. The multiplier $u_r$is the weight assigned to output$r$, and v_i is the weight assigned to input$i$ and their optimal values show the importance of each input and output in the efficiency assessment of DMU_k. Model (1-5) is an input-oriented model with constant return to scale (CRS). By adding u^*(it represents the position of an auxiliary hyperplane which lies at or above each DMU included in the analysis) to the objective function and second constraints, the model becomes an input-oriented model DEA model with a variable return to scale (VRS) (Banker, Charnes, & Cooper, 1984).

The results of the model (1-5) and its dual pair can be used to calculate the effective value of the input and output for the observed DMU_k. This implies the assumption that all inputs and outputs are under the control of the management and that their values can be changed. Another situation occurs when there are exogenously fixed variables (input/output), implies that management of the observed unit cannot make the influence - they are not under the control. For example, let us divide a set of inputs I into a set of controllable C and non-controllable variables N ($C \cup N = I$). DEA model with exogenously fixed inputs is modified as follows:

$$(\max) h_k = \sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rk} - \sum_{i \in N} v_i x_{ik} \tag{6}$$

s.t

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \tag{7}$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rj} - \sum_{i \in C} v_i x_{ij} - \sum_{i \in N} v_i x_{ij} \leq 0, \qquad j = 1, \dots, n \tag{8}$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \tag{9}$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, r \tag{10}$$

Optimal weights $v_i, i \in N$ are equal to zero in order to achieve as higher efficiency level as possible.

Regardless of selected DEA model, application procedure is consists of following steps: (1) DMUs selecting; (2) Inputs and outputs selection; (3) DEA analysis; (4) Results interpretation, application and verification.

Presented models and procedure are used for the efficiency analysis of selected cities/towns in the Republic of Serbia.

4. EMPIRICAL STUDY

4.1. Data collection and criteria selection

In the first step, we selected 15 towns to represent the regions in republic of Serbia. Selection is made according to the reports of Belgrade Chamber of Commerce (http://www.kombeg.org.rs/). Next step assumes selection inputs and outputs for the analysis.

To evaluate cities/towns' attractiveness from the aspect of efficiency, we have defined two data input-output scenarios shown in the Table 1.

Both input-output scenarios use the same input variables. Scenario 1 is created to measure the attractiveness of cites from the financial aspect and uses statistical data of prices of flat ranting and housing together with consumer basket per months as inputs with just one output - average monthly income.

Considering that other aspects of life, besides financial standard, can be considered as important factors in assessingattractiveness of cites we have defined one more scenario. The pollution rate is added in the Scenario 2 as measure of the life quality from the "green" ecologyand health aspect. The pollution is expressed as the μg of watts per cubic meter of air. All data for the 2012 are captured from the reports of Institute for Public Health of Serbia "Dr. Milan JovanovicBatut", or their Center for Hygiene and Human Ecology (Center for

Hygiene and Human Ecology, 2016). The pollution is treated as an undesirable output and converted to exogenously fixed input. The goal of the analysis was to compare the results of the scenarios – city/town attractiveness from financial and mixed financial-ecology aspects and to show how changing of just one, non-financial parameter can drastically change the results of efficiency-attractiveness analysis.

Table 1: Scenarios

	Scenario1	Scenario 2
Inputs	*Outputs*	*Outputs*
flat renting (50m^2 in RSD)	average monthly income (in RSD)	average monthly income (in RSD)
housing (50m^2 in RSD)		pollution rate
monthly consumer basket (in RSD)		

4.2.Results

By applying DEA model (1-5) on Scenario 1, we found that efficient cites are Pancevo, Uzice and Belgrade, The influential input factors are different as expected. For example, Belgrade choose only monthly consumer basket (weight equal to 1) which is relatively comparable with other cities/towns, especially if a higher average monthly income is taken into account. On the other hand, relatively high value inputs flat renting and housing are ignored. Pancevo is a financially attractive town due to the low price of housing while Uzice can be considered as relatively attractive from financial aspect due to relatively low flat renting price.

The experience and perception survey done as an extension of this study, indicate that decision which is the best place to live depends not only on financial but on intangible factors too. Therefore, next Scenario 2 takes pollution as an undesirable output (exogenously fixed input) into account. By applying DEA model (6-10), results show the increasing number of efficient cities/towns: Belgrade, Pancevo, Novi Sad, Uzice, Sremska Mitrovica and Valjevo.

Table 2 shows the efficiency and ranks of cities for both scenarios. The results are changed by adding only one undesirable output (pollution). The best example is the Sremska Mitrovica, with all average inputs and outputs for Scenario 1 it was ranked 14 out of 15 cities. With addition of only one input with the "best" value (smallest pollution), it has become the most efficient city. Only one city, Novi Sad has not changed its rank after the introduction of a new parameter. City of Valjevo has shown the biggest shift, which climbed from 11th to 5th place and therefore it became an efficient city. Three cities fell down, Zrenjanin drop down from 4th to 8th place, Kragujevac, dropped from 7th to 10th and Zajecar and dropped from 8th to 12th place.

Table 3: City ranks

City (DMU)	Scenario 1		Scenario 2	
	Efficiency	*Rank*	*Efficiency*	*Rank*
Pančevo	1,200	1	1,292	2
Užice	1,171	2	1,171	3
Beograd	1,133	3	1,145	4
Zrenjanin	0,983	4	0,983	8
Subotica	0,943	5	0,992	7
Novi Sad	0,920	6	1,023	6
Kragujevac	0,919	7	0,932	10
Zaječar	0,903	8	0,903	12
Kraljevo	0,886	9	0,970	9
Niš	0,873	10	0,904	11
Valjevo	0,863	11	1,043	5
Leskovac	0,858	12	0,858	13
Šabac	0,840	13	0,840	14
Sremska Mitrovica	0,822	14	big	1
Smederevo	0,813	15	0,813	15

For all of cities/towns efficient according Scenario 2, excluding Uzice, one of the most influential factors is low pollution. It affects efficiency rising for all of them. On the contrary, Uzice has a high level of pollution and therefore this input is ignored in the maximizing efficiency level. Figure 1 shows the structure of the input weights for each of the observed cities/towns. The second conclusion is that weight structure and consequently input factor influence is changed in Scenario 2 for all cities/towns with dramatic change in rank and efficiency level. For example, Figure 1 shows that housing is the most influential factor, followed by monthly consumer basket for Pančevo, according Scenario 1. On the other hand, Scenario 2 prioritizes pollution, flat ranting and housing for the same town. Scenario 1 prefers monthly consumer basket as the most influential input for

Valjevo while Scenario 2 gives priorities to low price of flat ranting and pollution. Similar conclusion can be made for cities: Sremska Motrovica, Niš, Kraljevo.

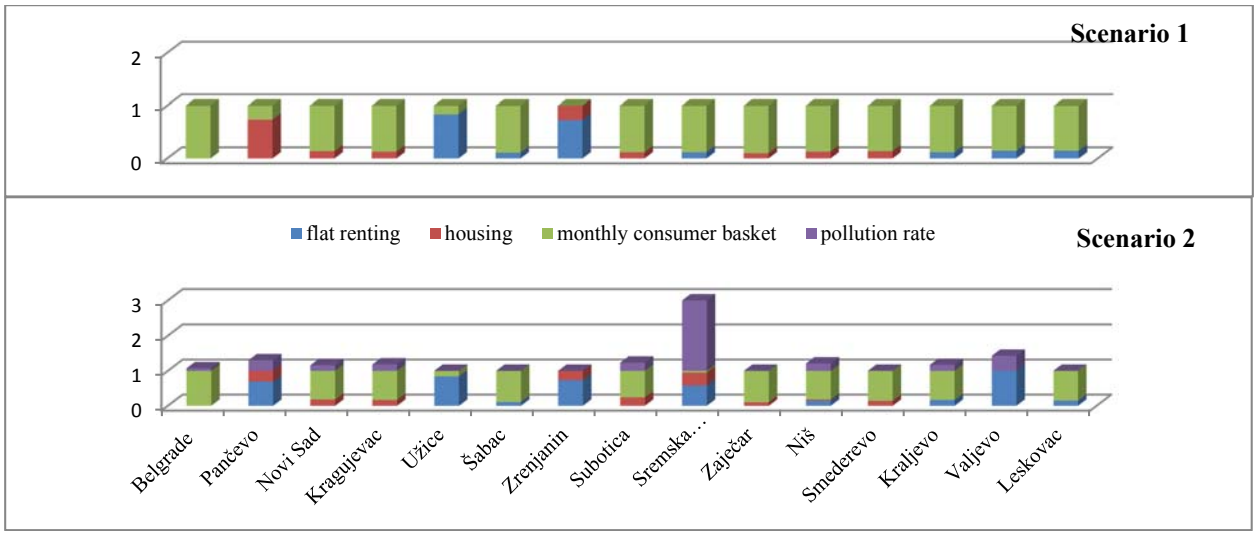


Figure 1: Input weights diversity – Scenario 1 and Scenario 2

5. CONCLUSION

The migration from village and smaller to bigger cities and emigration of young people has an increasing trend in our society. In the past, the villages have had far more density of population. Nowadays, the Serb villages, especially those in the mountainous regions, began to shake off, and the most of the population moved to cities. Negative migration balance in smaller towns is recorded, while Belgrade and Novi Sad are predominant with a positive migration balance. The question arises is whether the cities with a positive migration balance are at the same time efficient and whether they are really the best for life when considering the financial and non-financial health factor. In this paper, the DEA methodology was used to determine the efficiency and attractiveness of cities in Serbia.When it comes to the financial factor DEA proclaimed 3 larger cities as the most efficient: Pančevo, Užice, Belgrade. The next scenario includesthe pollution of cities as one of the inputs and the 6 efficient cities were acquired: Sremska Mitrovica, Pancevo, Uzice, Belgrade, Valjevo, Novi Sad.

The research implies that DEA as an objective method gives data-driven results and depends on used inputs and outputs as well as DMUs included into analysis. The research also indicates that results of first scenario are more suitable for person who is more cost-benefit oriented and do not care a lot about other living condition in the cities. Therefore, big sites such as Belgrade and relatively low-cost cities such as Uzice and Pančevo are the best picks for them. On the other hand, person who care about health condition more will consider results of the Scenario 2 and prefer smaller city (town) of Sremska Mitrovica as their place of residence.

The extension of the analysis includes preferences and perception survey and determination by Conjoint analysis. The hypostasis is that an efficient city does not automatically mean that it is percept as an attractive. Therefore, sometimes "image" that a particular city possesses is more important than its quantified efficiency. The results of both methods, DEA and Conjoint, can help the country in the implementation of the population policy. DEA model quantifies attractiveness and indicates influential factors and direction of improvement. Conjoint results can indicate whether are there the differences between perception and preferences and compare them to quantified DEA results.

REFERENCES

[1] Alfonso Piña, W. H., & Pardo Martinez, C. I. (2016). Development and urban sustainability: An analysis of efficiency using data envelopment analysis. *Sustainability, 8*(2), 148.

[2] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science, 30*(9), 1078-1092.

[3] Bernarf, J., & Cantner, U. (1997). French Regional Performance and Variety. A Non-Parametric Frontier Approach. *37th Congress of the European Regional Science Association.* Rome.

[4] *Center for Hygiene and Human Ecology.* (2016). Retrieved 2017, from Institute for Public Health of Serbia "Dr. Milan Jovanovic Batut": http://www.batut.org.rs

[5] Chang, P., Hwang, S., & Cheng, W. (1995). Using Data Envelopment Analysis to Measure the Achievement and Change of Regional Development in Taiwan. *Journal of Environmental Management, 43*, 49-66.
[6] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of Decision Makin Units. *European Journal of Operational Research, 2*, 429-444.
[7] Charnes, A., Cooper, W., & Li, S. (1989). Using Data Envelopment Analysis to Evaluate Efficiency in the Economic Performance of Chinese Cities. *Socio-Economic Planning Sciences, 23*(6), 325-344.
[8] Chen, C. C. (2017). Measuring departmental and overall regional performance: applying the multi-activity DEA model to Taiwan′ s cities/counties. *Omega, 67*, 60-80.
[9] Halkos, G., & Tzeremes, N. (2013). A conditional directional distance function approach for measuring regional environmental efficiency: evidence from UK regions. *European Journal of Operational Research, 227*(1), 182-189.
[10] Kahirović, E. (2013). *Upravljanje performansama poslovnih procesa u funkciji povećanja efikasnosti preduzeća.* Niš: Ekonomski fakultet Univerziteta u Nišu.
[11] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *Linking the balanced scorecard to strategy.* California: California Management Review.
[12] Loikkanen, H. A., & Susiluoto, I. (2002). An evaluation of economic efficiency of Finnish regions by DEA and Tobit models. *42st Congress of the European Regional Science Association.* Dortmund,.
[13] Martić, M., & Savić, G. (2001). An application of DEA for comparative analysis and ranking of regions in Serbia with regards to social-economic development. *European Journal of Operational Research*, 343-356.
[14] Masternak-Janus, A., & Rybaczewska-Błażejowska, M. (2017). Comprehensive Regional Eco-Efficiency Analysis Based on Data Envelopment Analysis: The Case of Polish Regions. *Journal of Industrial Ecology, 21*(1), 180-190.
[15] Maudos, J., Pastor, J., & Serrano, L. (2000). Efficiency and Productive Specialisation: An Application to the Spanish Regions. *Regional Studies, 34*(9), 829-842.
[16] Miot, Y. (2015). Residential attractiveness as a public policy goal for declining industrial cities: Housing renewal strategies in Mulhouse, Roubaix and Saint-Etienne (France). *European Planning Studies, 23*(1), 104-125.
[17] Mirkov, A. (2016). *Kvalitet života u gradu: Mišljenje i delanje stanovnika pojedinih gradova u Srbiji.* Beograd: Filozofski fakultet, Univerzitet od Beograda.
[18] Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(12), 80-116.
[19] Petrić, J. (2013). *Rezidencijalne preferencije ka gradskim i prigradskim područjima i povezanost sa njihovim demografskim karakteristikama.* Beograd: Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije.
[20] Popovic, G., & Martić, M. (2005). Two-stage DEA use for assessing efficiency and effectiveness of micro-loan programme. *Proceedings of The 7th Balkan Conference on Operational Research, BACOR 05*, (pp. 457-464.). Constanta,.
[21] Rabar, D. (2013). Assessment of regional efficiency in Croatia using data envelopment analysis. *Croatian operational research review, 4*(1), 76-88.
[22] Schaffer, A., Simar, L., & Rauland, J. (2011). Decomposing regional efficiency. *Journal of Regional Science, 51*(5), 931-947.
[23] Solana-Ibáñez, J., Caravaca-Garratón, M., & Para-González, L. (2016). Two-Stage Data Envelopment Analysis of Spanish Regions: Efficiency Determinants and Stability Analysis. *Contemporary Economics, 10*(3), 259-273.
[24] Staníčková, M., & Melecký, L. (2012). Assessment of efficiency in Visegrad countries and regions using DEA models. *Ekonomická revue–Central European Review of Economic Issues, 15*(3), 145-156.
[25] Suzuki, S., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (2011). Regional efficiency improvement by means of data envelopment analysis through Euclidean distance minimization including fixed input factors: an application to tourist regions in Italy. *Papers in Regional Science, 90*(1), 67-89.
[26] Wang, Q., Zhao, Z., Shen, N., & Liu, T. (2015). Have Chinese cities achieved the win–win between environmental protection and economic development? From the perspective of environmental efficiency. *Ecol. Indic., 51*, 151-158.
[27] Yin, K., Wang, R., An, Q., Yao, L., & Liang, J. (2014). Using eco-efficiency as an indicator for sustainable urban development: A case study of Chinese provincial capital cities. *Ecological Indicators, 36*, 665-671.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFECTIVENES OF INFECTIOUS MEDICAL WASTE DISPOSAL SYSTEM: A CASE STUDY OF THE TERTIARY HEALTH-CARE INSTITUTION

OLIVERA MIHAILOVIĆ[1], NEVENKA ŽARKIĆ-JOKSIMOVIĆ[2], NATAŠA PETROVIĆ[3], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[4], JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ[5]

[1] Clinical Hospital Center Zemun, Serbia, olivera.mihailovic1@gmail.com
[2] University of Belgrade-Faculty of Organizational Sciences, Serbia, zarkic-joksimovic.nevenka@fon.bg.ac.rs
[3] University of Belgrade-Faculty of Organizational Sciences, Serbia, petrovicn@fon.bg.ac.rs
[4] University of Belgrade-Faculty of Organizational Sciences, Serbia, gis@fon.bg.ac.rs
[5] University of Belgrade-Faculty of Organizational Sciences, Serbia, jelena.radakovic@fon.bg.ac.rs

Abstract: *Medical waste represents a growing problem worldwide. This category of waste is very significant and special since the negative effects that it can have on both human health and the environment. The proper disposal of such waste, and especially infectious medical waste that poses the greatest risk, is crucial in a responsible functioning of health-care institutions. This paper presents a research study of gaining economic and environmental efficiency of using appropriate infectious medical waste disposal system by exploring the benefits of introducing an autoclave and shredder system in a public tertiary health-care institution - Clinical Hospital Center Zemun, Belgrade, Serbia. The presented model showed that it would have both financial gains in providing new savings as well as benefits for the human health and environment in lowering the risk of infections and pollution.*

Keywords: *Economic effectiveness, Environmental effectiveness, Infectious medical waste, Infectious medical waste management.*

1. INTRODUCTION

> *"However, each type of hazardous medical waste presents hazards that jeopardize the enjoyment of human rights."* Calin Georgescu, UN Special Rapporteur on human rights and toxic waste

Medical waste represents a very important waste category, having in mind that during the past two decades the problems associated with it have become of a significant global issue when considering possible negative effects of medical waste and its inadequate treatment and final disposal practices together with a new trend of favoring single use medical devices which additionally affect the increase of this type of waste.

Negative impact of medical waste is reflected in: harm on patients and medical workers as well as the participants in waste management within and outside the health care facility (workers and the scavenger population that is working on the streets or at the final disposal facilities); increasing of the public health; impacts on ecosystems and environment (Institute for Environmental Medicine and Hospital Hygiene, 2000; Manyele, 2004; Emmanuel and Stringer, 2007; Ferreira and Teixeira, 2010; International Committee of the Red Cross, 2011, Karliner and Guenther, 2011; Al-Habash and Al-Zu'bi, 2012; Koo and Jeong, 2015; Xin, 2015; Makajic-Nikolic et al., 2016). For these reasons, medical waste that is created as a "negative byproduct" of medical service is gaining more and more attention and importance, and has become a subject of duties of medical institutions contained in the legislation worldwide and the possibilities of implementing best practice in this area (Mihailović, 2017).

When it comes to the health risk caused by medical waste, it should be noted that some types of medical waste have a greater health risk than others, because 15-25% of the total amount of medical waste is considered infectious (Shinee, Gombojav, Nishimura, Hamajima, & Ito, 2008; WHO, 2015). Infectious medical waste contains infectious waste, toxic and/or radioactive substances or a mixture of the previously-mentioned waste (WHO, 2015). When it comes to the Republic of Serbia, about 10-25% of medical waste is hazardous waste or infectious waste - dangerous to human health and the environment. It is estimated that all health institutions in the Republic of Serbia generate about 48,000 tones of medical waste per year, out of which about 9,600 tones of this waste is considered infectious (WMS, 2009).

Given the previous, the authors in this paper gave their research relating to possible improvements of economic and environmental efficiency of infectious medical waste disposal through the introduction of on-site use of the system of an autoclave shredder (AS), with the goal to show that implementing this eco-friendly disposal system would not only solve the problem of infectious waste by turning it into noninfectious compressed waste ready for recycling or safe disposal as communal waste, but provide financial savings as well. In this paper we described such a model of efficiency infectious medical waste disposal in the case of a public tertiary health-care institution - Clinical Hospital Center Zemun, Belgrade, Serbia.

2. INFECTIOUS MEDICAL WASTE

Infectious medical waste is all infectious and harmful wastes produced by health-care institutions. This waste is categorized as hazardous waste because it is consisted of: various infectious and chemical components; germs and viruses; sharp and cutting objects such as surgical blades and syringes. The alarming figures published by WHO indicate that, each year about 23 million people get infected with Hepatitis B and C and HIV which are transmitted to them by sharp and cutting objects found in medical wastes (WHO, 2004; LaGrega, Buckingham, & Evans, 2010). Infectious medical waste is most dangerous for these endangered groups: physicians, nurses and unprofessional workers, patients, visitors and their companions (Da Silva, Hoppe, Ravanello, & Mello, 2005; Guerrero, Maas, & Hogland, 2013). The greatest risk of infectious medical waste is the risk of needle stings, needle injury, which is suspected to contain pathogens (bacteria, viruses, parasites, or fungi). Besides, needle punctures or cuts with a sharp object, are in 68% of cases the cause of injury (HPA, 2008). Exposures, which are the most frequent, involve contact with sharp objects, infectious agents and toxic substances; personal injuries when handling the waste; injury when handling; slip, trip, fall; contacts during the procedure (Akpieyi, Tudor, & Dutra, 2015).

According to Waste Management Strategy for the Republic of Serbia (WMS, 2009), the infectious medical waste generation rate is 0.7 kg/bed-day. However, in the literature can be found different, mostly lower values: 0.53 kg/bed-day (Mbarki, Kabbachi, Ezaidi, & Benssaou, 2013), 0.341 kg/bed-day (Pandey, Ahuja, Madan, & Asthana, 2016), 0.1-0.7 kg/bed-day (Qadir, Murad & Faraz, 2016).

3. METHODOLOGY

In developing countries, the more common treatment of infectious medical waste are: autoclaves and retorts, microwave disinfection systems, chemical disinfection, combustion, and disposal on land (Diaz, Savage, & Eggerth, 2005). In this paper, we analyzed the economic and environmental effectiveness of introducing the integrated autoclave with shredder in a public tertiary health-care institution - Clinical Hospital Center Zemun. The reason for the authors choice of AS disposal system lays in the fact that this system could be well established as on-site disposal system in Serbia, as well as fact that on-site treatment of infectious medical waste offers a large quantity of advantages: minimum handling hazard; reduction of transportation and storage expenses; decrease of air pollution and emission of greenhouse gases; low operating cost (Mari and Chapon, 2017).

Medical waste that can be treated by this disposal system is: sharps, cultures, items contaminated with blood, residues from surgery, gauze, linen, gowns, non-chemical laboratory wastes (Diaz, Savage, & Eggerth, 2005). It should be added that using this system is a more environmentally friendly way of disposing waste that enables replacing incineration as a disposal method.

3.1. Economic Effectiveness

Precise assessment of the cost-effectiveness of autoclave procurement in a tertiary health care facility would require the use of the exact data about the costs of the infectious medical waste treatment services. However, these costs are usually not recorded on this level of detail, but they relate to the overall cost of medical waste management. Therefore, costs related only to services concerning infectious medical waste must be assessed indirectly. In this paper, we propose assessment by the number of hospitalization days for which records are kept in each health care institution. In order to assess costs of the infectious medical waste treatment services, the following parameters are used:

N – the set of clinics;

n_i – annual number of hospitalization days in i-th clinic, $i \in N$;

p – estimated (average) production of infectious medical waste (IMW) (kg/bed-day);

ct – unit costs of IMW treatment (RSD/kg);

tc – annual IMW transportation costs.

Total annual cost of transportation and treatment of infectious medical waste, *C* can be estimated using the following formula:

$$C = ct \cdot p \cdot \sum_{i \in N} n_i + tc \tag{1}$$

When deciding on the procurement of AS system, these costs should be compared with the price of the autoclave and shredder. In this decision, the purposes for which the AS system will be used should be taken into account: on-site, cluster treatment or central treatment. Certainly, the prices of these different usage of the AS system are rising respectively. However, the second and third, in addition to cost savings, would bring the health-care facility a certain income.

In addition, it is necessary to first consider what quantities of infectious medical waste are generated and what the infectious medical waste disposal systems are used in the region (Ugrinov and Stojanov, 2013). The decision-making process for the infectious medical waste disposal system is illustrated in Figure 1.

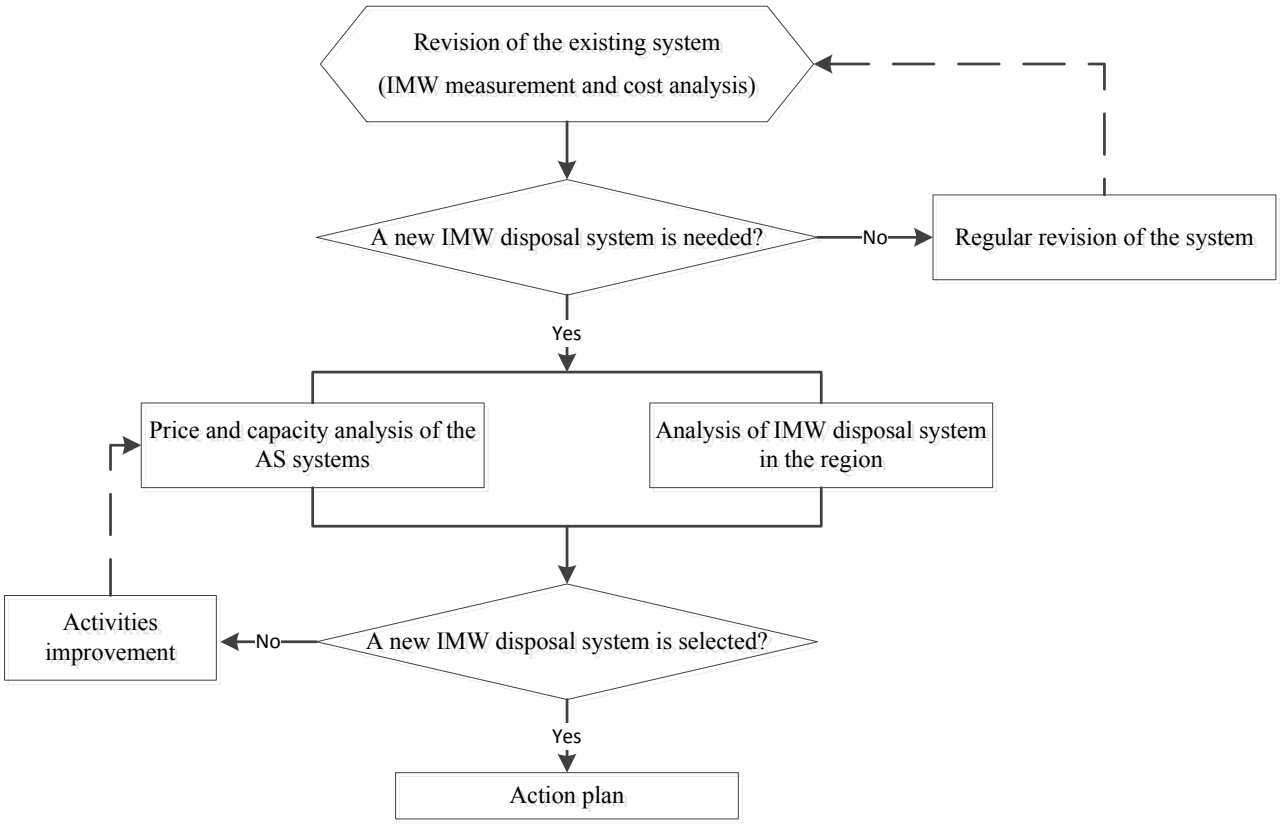


Figure 1: The decision-making process for the infectious medical waste disposal system (adapted from Ugrinov and Stojanov, 2013)

3.2. Environmental Effectiveness

The greatest environmental threats related to current way of infectious medical waste disposal are caused by possible accidents during transporting. The risk of transporting hazardous material, such as infectious medical waste, is characterized by two attributes: the probability of a release accident, and a measure of the consequence of a release accident (Erkut and Ingolfsson, 2005). Some of the possible risks in infectious medical waste transportation are given in Table 1.

The use of AS system does not affect the probability of an accident but it has a significant impact on the consequence if an accident occurs. Moreover, infectious medical waste treated by autoclave and shredder no longer constitutes hazardous waste and, consequently, there is no negative environmental impact if an

accident occurs during its transportation. Therefore, use of the AS system decreases the overal risk of produced and discarded infectious medical waste by hospitals and other health-care sites.

Table 1: Possible risks in IMW transportation (adapted from Cudečka-Puriņa, Atstāja, & Cudečkis, 2013)

Type of risk	Influence on	Effects/risk description	Predictability rate
Incineration	Air (Co_2, NO_x, CH_4, O_3); GHG; Inhabitant health	Occurs due inflammation of waste inside the waste collection truck. In this case the truck has to be totally emptied and only then the fire has to be extinguished.	Low
Spilling	Air (Co_2, NO_x, CH_4, O_3); Water	High waste liquidity causes spilling of waste while transportation. It has an impact on air pollution (smell) and on water, in case the waste is absorbed and reaches the groundwater.	Low
Un-optimized routes	Air (Co_2, NOx, CH_4, O_3); GHG Noise; Operational expenditures	Existence of various management companies within one region leads to ineffective usage of vehicles and increases volume of emissions.	High

In addition, transportation of the infectious medical waste requires special attention in vehicle routing planning due to the hazardous materials being transported (Alagöz and Kocasoy, 2008). As a result, the vehicles often do not use optimal routes thus increasing fuel consumption and emission of greenhouse gases. By using the AS system this problem is completely eliminated.

4. NUMERICAL RESULTS

For the purpose of our research, we chose a public tertiary health-care institution - Clinical Hospital Center Zemun, Belgrade, Serbia as institution which practices health-care activity in the secondary and tertiary levels that is, highly specialized consulting and in-patient health care. Under this name, the hospital has been working since 31st of December 1983, while it was founded in 1784, and is the oldest hospital in Serbia.

When it comes to infectious medical waste, Clinical Hospital Center Zemun has a contract on the treatment of infectious medical waste with the Vozdovac Health Center, Clinical Hospital Center Zvezdara. Infectious medical waste is transported on a daily basis and the cost of the treatment paid for 1 kg of infectious medical waste is 120 RSD gross.

In this stage of the research, revision of the existing infectious medical waste disposal system and costs analysis were performed (first phase on Figure 1). This pilot analysis was carried only for the infectious medical waste generated in the clinics during patients' hospitalization. Based on data collected in the period 01.10.2015.-30.09.2016, values of parameter n_i are calculated (Table 2).

Total number of hospitalization days is 148,917 that, multiplied by 0.7 kg/bed-day, gives 104,241.9kg of infectious medical waste generated during one year. Since unit costs of infectious medical waste treatment are 120 RSD/kg, total annual costs of infectious medical waste treatment are 12,509,028 RSD.

Transportation costs are estimated based on distance between Clinical Hospital Center Zemun and Vozdovac Health Center (12.2km) and characteristics of vehicle (Peugeot Partner Court NV1 1.6 HDI). Estimated annual transportation costs are 319,521 RSD and finally, total costs expressed by the equation (1) are 12,828,549 RSD.

This amount represents 0.52% of the total expenditure of the Clinical Hospital Center Zemun. This low percentage share of the costs for the disposal of infectious medical waste in total expenditures, confirms the current legal regulations in the field of the waste management in Serbia, by which even if the principle of "polluter pays" applies, the cost of waste that has to be paid is by no mean economic, but social (WMS, 2009). The first reason is of a social nature: through these price the living standard of the population was maintained. Another reason for low prices should be sought in the nature of ownership of public enterprises such as tertiary health-care institutions in Serbia.

Table 2: Annual number of hospitalization days per clinics (Source: Clinical Hospital Center Zemun, 2016)

Clinic	Annual number of hospitalization days
Nephrology	5,528
Endocrinology	5,598
Pulmonology	8,148
Hematology	4,797
Gastroenterology	8,248
Cardiology	13,644
Geriatric	11,561
Pediatric	9,170
Neurology	7,846
Surgery	18,690
Traumatology	5,630
Neurosurgery	7,203
Urology	6,839
Otorhinolaryngology and Maxillofacial surgery	5,890
Gynecology	3,803
Obstetric	8,163
Hyperbaric medicine	3,368
Medical oncology	9,052
Neonatology	5,739

5. CONCLUSION

It is evident that the infectious medical waste is a type of high-risk waste and, unfortunately, a necessary byproduct of activities of health-care institutions. This type of medical waste is, unfortunately, a growing category in total medical waste produced. The risks that it carries with itself are most manifested when handling it, and can lead to various hazardous and incurable disease such Hepatitis B and C and HIV.

On the other hand, the current practices in Serbia of safe medical waste disposal usually implies transport to other institutions that will continue with its disposal. In the paper, the authors suggested that the introduction of integrated autoclave with shredder as on-site disposal system will solve the problem of infectious medical at the source - leading to economic efficiency, reduced risks to human health and increased positive environmental impacts.

REFERENCES

[1] Alagöz, A. Z., & Kocasoy, G. (2008). Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in Istanbul. Waste Management, 28(8), 1461-1471.

[2] Al-Habash, M., & Al-Zubi, A. (2012). Efficiency and Effectiveness of Medical Waste Management Performance, Health Sector and its Impact on Environment in Jordan Applied Study. World Applied Sciences Journal, 19(6), 880-893.

[3] Clinical Hospital Center Zemun. (2016). Annual number of hospitalization days per clinics. Internal document, Beograd: Clinical Hospital Center Zemun.

[4] Cudečka-Puriņa, N., Atstāja, D., & Cudečkis, V. (2013). Assessment and mitigations of household waste collection transportation risks. Journal of Business Management, 7, 118-129.

[5] Da Silva, C.E., Hoppe, A.E., Ravanello, M.M., & Mello, N. (2005). Medical wastes management in the south of Brazil. Waste Management Journal, 25(6), 600–605.

[6] Diaz, L. F., Savage, G. M., & Eggerth, L. L. (2005). Alternatives for the treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries. Waste Management, 25(6), 626-637.

[7] Emmanuel, J., & Stringer, R. (2007). For Proper Disposal: a Global Inventory of Alternative Medical Waste Treatment Technologies. Arlington: Health Care Without Harm.

[8] Erkut, E., & Ingolfsson, A. (2005). Transport risk models for hazardous materials: revisited. Operations Research Letters, 33(1), 81-89.

[9] Ferreira, V., & Teixeira, M.R. (2010). Healthcare waste management practices and risk perceptions: Findings from hospitals in the Algarve region, Portugal. Waste management 30, 2657-2663.

[10] Guerrero, L.A., Maas, G., & Hogland, W., (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. Waste Management Journal, 33(1), 220-232.

[11] Institute for Environmental Medicine and Hospital Hygiene. (2000). Practical Guide for Optimising the Disposal of Hospital Waste. Freiburg: Institute for Environmental Medicine and Hospital Hygiene.

[12] International Committee of the Red Cross. (2011). Medical Waste Management. Geneva: International Committee of the Red Cross.

[13] Karliner, J., & Guenther, R. (2011). The Global Green and Healthy Hospitals Agenda Health. Reston: Care Without Harm.

[14] Koo, J.K., & Jeong, S.I. (2015). Sustainability and shared smart and mutual-green growth (SSaM-GG) in Korean medical waste management. Waste Management and Research, 33(5), 410-418.

[15] LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., & Evans, J.C. (2010). Hazardous waste management. 1st ed. United States: McGraw-Hill Inc.

[16] Makajic-Nikolic, D., Petrovic, N., Belic, A., Rokvic, M., & Radakovic, J.A. (2016). The fault tree analysis of infectious medical waste management. Journal of Cleaner Production, 113, 365-373.

[17] Manyele, S.V., & Tanzania, V. (2004). Effects of improper hospital-waste management on occupational health and safety. African Newsletter on Occupational Health and Safety, 14(2), 30-33.

[18] Mari, D., & Chapon, J. L. (2017). Infectious Hospital Waste Sterilization by the Rimm Microwave Process: Microbiological Results.

[19] Mbarki, A., Kabbachi, B., Ezaidi, A., & Benssaou, M. (2013). Medical waste management: A case study of the souss-massa-draa region, morocco. Journal of Environmental Protection, 4(09), 914.

[20] Mihailović, O. (2017). Strategic analysis of the practices of medical waste management in the Republic of Serbia. Ecologica, 24(86), 401-408. (in Serbian)

[21] Pandey, A., AhujA, S., Madan, M., & Asthana, A. K. (2016). Bio-Medical Waste Managment in a Tertiary Care Hospital: An Overview. Journal of clinical and diagnostic research: JCDR, 10(11), DC01.

[22] Qadir, M., Murad, R., & Faraz, N. (2016). Hospital Waste Management; Tertiary Care Hospitals. Professional Medical Journal, 23(7).

[23] Ugrinov, D., & Stojanov, A. (2013). Legislation framework and responsibilities in medical waste management. Zaštita materijala, 54(2), 193-203 (in Serbian)

[24] Waste Management Strategy (WMS). (2009). Waste Management Strategy for the Period 2010-2019, Government of the Republic of Serbia. Retrieved from http://www.gs.gov.rs/english/strategije-vs. (in Serbian)

[25] World Health Organizaction (WHO). (2015, November). Who media centre. Retrieved from www.who.int: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs253/en/

[26] World Health Organization (WHO). (2004). Health-care waste management. Policy Paper, August.

[27] Xin, Y. (2015). Comparison of hospital medical waste generation rate based on diagnosis-related groups. Journal of Cleaner Production, 100, 202-207.

ANALIZA PERFORMANSI

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SELEKCIJA KLJUČNIH INDIKATORA PERFORMANSI PRIMENOM KVANTITATIVNIH METODA

KEY PERFORMANCE INDICATORS SELECTION USING QUANTITATIVE METHODS

LARA STOJANOVIĆ[1], GORDANA SAVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, lara.stojanovic@keprom.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, gordana.savic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ključni indikatori performansi (Key Performance Indicators - KPI) su navigacioni instrumenti koje koriste menadžeri da shvate da li posluju uspešno. Međutim, detaljna analiza ključnih indikatora performansi je izvršena u malom broju kompanija, a veoma je bitno definisati ih na pravi način, jer su ključni za sadašnji i budući uspeh jedne organizacije, a pored toga, oni takođe mogu da pokažu i uspešnost rada nekog sektora u kompaniji. Definisanjem i praćenjem ključnih indikatora performansi, menadžment kompanije može da utvrdi da li je određeni sektor uspeo da ostvari svoje ciljeve na način koji je u skladu sa strategijama kompanije. Predmet istraživanja rada je definisanje i selekcija ključnih indikatora performansi poslovanja u sektoru ljudskih resursa. Nakon definisanja ciljeva sektora ljudskih resursa i indikatora pomoću kojih će se pratiti ostvarenje istih, potrebno je definisati ključne indikatore performansi. Posebna pažnja je posvećena istraživanju gde će biti objašnjene metode za izbor ključnih indikatora performansi - algoritam ušteda i model pokrivanja skupova. Na kraju će se dati predlozi za dalja istraživanja.*

Ključne reči: *ključni indikatori performansi, ljudski resursi, algoritam ušteda, model pokrivanja skupova, zadovoljstvo zaposlenih*

Abstract: *Key Performance Indicators (KPIs) are navigational instruments used by managers to understand if they are doing business successfully. However, a detailed analysis of key performance indicators has been done in a small number of companies, and it is very important to define them in the right way because they are crucial for the present and future success of an organization, and in addition, they can also show the success of a company's sector. By defining and monitoring key performance indicators, the company's management can determine if a particular sector has managed to achieve its goals in a way that is in line with company strategies. The subject of research is defining and selecting key indicators of business performance in the human resources sector. After defining the goals of the human resources sector and the indicators that will monitor the achievement of these, it is necessary to define key performance indicators. Particular attention has been paid to research where methods for the selection of key performance indicators will be explained - the savings algorithm and the model of covering events. In the end, suggestions for further research will be given.*

Keywords: *Key Performance Indicators, Human Resources, savings algorithm, model set covering, employee satisfaction.*

1. UVOD

Predmet ovog istraživanja odnosi se na definisanje ključnih indikatora performansi poslovanja u sektoru ljudskih resursa u jednoj kompaniji. Razni strateški alati, kao što su ocene učinka, *management dashboards*, *lean management*, *balanced scorecard*, analiza strategije 360 stepeni (Marr B.), ključni indikatori performansi i mnogi drugi, mogu pomoći da menadžment kompanije razume da li je sektor ljudskih resursa uspeo da ostvari svoje ciljeve na način koji je u skladu sa strategijom kompanije.

Najveći izazov je kreirati i održavati dobar sistem za merenje performansi (Franceschini, Galetto, & Maisano, 2007). Sistem za merenje performansi proizilazi iz strateškog plana i obezbeđuje podatke koji će biti prikupljani i praćeni i koji će omogućiti donošenje dobrih poslovnih odluka. Uspostavljanje dobrog

sistema podrazumeva, pored ostalog, i izbor pravih indikatora koji će uzeti u obzir sve aspekte, kao što su strateški plan, ključni podprocesi i potrebe svih zainteresovanih. Osnovni problem se javlja kada je potrebno iz većeg skupa izabranih indikatora izdvojiti one koji predstavljaju ključne indikatore i koji će se pratiti periodično i predstavljati menadžmentu kompanije. Pored toga, veliki broj organizacija posluje sa merama koje se ponekad pogrešno nazivaju ključnim indikatorima performansi, dok samo neke kompanije zaista mere i razumeju šta su (Jevtić, 2016) i većina menadžera se trudi da razume i identifikuje nekoliko metrika, umesto da prikupe informacije o svemu što se može izmeriti i to sagledaju. Kao posledica toga dolazi do utapanja u podacima (Marr B. , 2012). U ovom radu će biti razmatrano upravo definisanje indikatora performansi i selekcija ključnih indikatora primenom kvantitativnih metoda na primeru sektora ljudskih resursa.

U drugom poglavlju biće detaljnije objašnjen pojam ključnih indikatora performansi konkretno u sektoru ljudskih resursa, kao i opšta načela koja omogućavaju uvođenje istih. Posebna pažnja je posvećena istraživanju, koje je prikazano u trećem poglavlju. Za definisanje ključnih indikatora performansi korišćene su dve metode: modifikovan algoritam ušteda i optimizacioni model pokrivanja skupova, pomoću čega će se iz velikog broja indikatora izabrati oni koji pokrivaju unapred definisane ciljeve. U zaključku su prikazani predlozi za dalja istraživanja.

2. KLJUČNI INDIKATORI PERFORMANSI U SEKTORU LJUDSKIH RESURSA

U protekloj deceniji, ljudski resursi i ljudski kapital su evoluirali od uslužno orijentisanih ka više strateškim organizacionim sredstvima i ciljevima. Menadžeri priznaju da je sada (više nego ikada) od vitalnog značaja da imaju pravi tim, a takođe i da ostvaruju strategiju kompanije. Poznate organizacije i preduzeća iz celog sveta redovno razgovaraju o tome kako je važno da se zaposli i zadrži pravi talenat, i ova sposobnost se često smatra jednim od najvećih prediktora uspeha (https://www.clearpointstrategy.com/human-capital-kpis-scorecard-measures/).

Iako mnoge organizacije prepoznaju ovu promenu, u stvari, ne uspevaju sve da ispravno mere uspeh sa ažuriranim ključnim indikatorima performansi ljudskih resursa. Ključni indikatori performansi kao strateški alati mogu pomoći da menadžment kompanije razume da li je sektor ljudskih resursa uspeo da ostvari svoje ciljeve u skladu sa strategijom kompanije. Menadžeri u stvari treba da razmišljaju i o tradicionalnim merama, kao što su bolovanja, odsustva zaposlenih i njihovo zadovoljstvo, pored strateških mera ljudskog kapitala nalik performansama i organizacionoj kulturi (https://www.clearpointstrategy.com/human-capital-kpis-scorecard-measures/).

Sa stanovišta sektora ljudskih resursa, efikasna organizaciona promena u velikoj meri se oslanja na stvaranje odgovarajuće prakse koja predstavlja centar nove kulture na radnom mestu. U tom kontekstu, uvođenje ključnih indikatora se mora postići na način koji podržava i produžava ideju kooperativnosti na radnom mestu - partnerstvo među zaposlenima, menadžmentom, dobavljačima, klijentima i zajednicama sa kojima organizacija posluje. Postoje 4 opšta načela koje omogućava uvođenje ključnih indikatora (Parmenter, 2010):

1. Kooperativnost sa zaposlenima, organizacijama, ključnim kupcima i dobavljačima;
2. Prenos snage na „liniji fronta“, odnosno premeštanje moći u prve redove (prebacivanje odgovornosti na direktne učesnike procesa);
3. Merenje i izveštavanje menadžementa samo onoga što se dešava i što je bitno;
4. Povezivanje mera učinka sa strategijom kroz kritičan faktor uspeha.

3. METODE ZA IZBOR KLJUČNIH INDIKATORA PERFORMANSI

S obzirom da se prate indikatori samo jednog aspekta poslovanja, a to su ljudski resursi, u ovom radu se razmatra uspostavljanje sistema „nekoliko kritičnih“ indikatora ili *dashboard performance* sistema (Franceschini, Galetto, & Maisano, 2007). Kreiranje *dashboard performance* sistema podrazumeva da se izaberu odgovarajuće indikatore (ni previše, ni premalo) koji će reprezentovati sve važne aspekte. Pre izbora koje će se informacije sintetizovati ili koji će se podaci prikupljati, potrebno je definisati ciljeve. Izabrano je 22 indikatora koji su podeljeni u 6 grupa i trebalo bi da pokriju 8 ciljeva, što se može videti u Tabeli 1. Osnovni zadatak je izabrati po jedan ključni indikator iz svake grupe, a da svaki cilj bude pokriven sa najmanje jednim indikatorom. Prema tome, osnovno pitanje je na koji način se mogu izabrati ključni

indikatori performansi. U literaturi (Franceschini, Galetto, & Maisano, 2007) se predlažu kvantitativne metode:

a. Sinteza zasnovana na konceptu „relativene važnosti“;
b. Sinteza zasnovana na konceptu minimalnog pokrivanja skupova *„minimum set covering” synthesis*;
c. Sinteza zasnovana na stepenu korelacije indikatora.

Za definisanje ključnih indikatora performansi poslovanja u ovom radu biće korišena sinteza zasnovana na konceptu minimalnog pokrivanja skupova i to korišćenjem modifikovanog algoritama ušteda i optimizacionog modela celobrojnog programiranja.

3.1. Modifikovani algoritam ušteda

U nekim situacijama, umesto da se izaberu najvažniji indikatori, važnije je da se izabere minimalan broj indikatora koji pokriva sve ciljeve koji su definisani. Ova metoda može biti veoma korisna kada kompanija želi da prikaže globalnu viziju stanja procesa. Očigledno, ovo ne znači da se neki indikatori mogu zanemariti tokom kontrolisanja procesa, već to podrazumeva da proces može biti organizovan na takav način da daje veći značaj onim indikatorima koji bolje pokrivaju ciljeve.

Potraga za minimalnim brojem indikatora koji pokrivaju sve ciljeve je klasičan problem kombinatorne optimizacije, poznat kao problem pokrivanja skupova (*set covering problem*) (Parker & Rardin, 1988), odnosno u ovom slučaju se radi o konceptu *„minimum set covering“*. (Franceschini, Galetto, & Maisano, 2007).

Modifikovan Nemhauserov algoritam (Franceschini, Galetto, & Maisano, 2007)

Potrebno je kreirati matricu veza kojom se definiše da li postoji veza i koliki je njen intenzitet između svakog indikatora i svakog cilja i vaznost svakog cilja. Uticaj indikatora na ciljeve je dodeljen tako da najveći uticaj ima težinu 5 (zelena boja), srednji uticaj - težinu 3 (žuta boja) i najmanji uticaj - težinu 1 (plava boja). Međutim, definisani su i negativni uticaji crvenom bojom, bez obzira na težinu.

Ciljevi su dati u redovima, a indikatori u kolonama matrice, gde se u prvom redu može videti i kojoj grupi indikatora pripadaju. Množenjem važnosti ciljeva sa uticajem indikatora poslovanja na ciljeve, dobijene su težine koje su sumirane po indikatorima i pravljenjem proseka se definišu ključni indikatori performansi.

Logika modifikovanog Nemhauserovog algoritma se zasniva na sledećim koracima:

1. Izabrati indikator koji ima najviše veza sa ciljevima (pokriva najviše ciljeva). Intenzitet veze (slab, srednji, jak) se ne uzima u obzir. Ukoliko postoje više indikatora koji imaju jednak broj uticaja na ciljeve, uzima se onaj indikator sa većom težinom.
2. Izabrani indikator se uklanja iz matrice, a uključuje se u ključne indikatore performansi (*critical few*).
3. Iz matrice se zatim uklanjaju simboli (težine indikatora) u svim redovima (ciljevima) na koje je izabrani indikator u prethodnom koraku uticao.
4. Ponovo se računaju indikatori težine, samo pomoću preostalih koeficijenata (kvantitativni odnosi između indikatora i ciljeva).
5. Postupak se ponavlja dok se svi simboli ne izbace iz matrice.

Ukoliko su težine kod indikatora iste, subjektivnom procenom se bira jedan od tih indikatora i uključuje se u ključne indikatore performansi (Nemahauser & Wolsey, 1988).

S obzirom da je u radu definisano 22 indikatora koji su smešteni u 6 grupa indikatora, izvršena je dodatna modifikacija modifikovanog Nemahausovog algoritma, tako da iz svake grupe indikatora bude izabran po jedan indikator, a da budu pokriveni svi ciljevi. Ova modifikacije se odnosi na korak 3.

3’. Iz matrice se zatim uklanjaju simboli u svim redovima (ciljevima) na koje je izabrani indikator u prethodnom koraku uticao, kao i svi simboli u kolonama koje se odnose na indikatore koji pripadaju istoj grupi, kao i indikator izabran u prethodnom koraku.

Tabela 1. Ciljevi, grupe indikatora i indikatori

	GRUPE INDIKATORA	OPŠTI INDIKATORI				FLUTKUACIJA I OSTANAK ZAPOSLENIH					SELEKCIJA					ZADOVOLJSTVO ZAPOSLENIH				RAZVOJ ZAPOSLENIH			KADROVSKA EVIDENCIJA
Ciljevi / Indikatori	Važnost ciljeva	Profit po zaposlenom	Broj radnih sati po čoveku	Broj unapređenja	Procenat talenata	Odsustvo zbog bolovanja	Stopa fluktuacije	Ostanak zaposlenih	Broj odlazaka zaposlenih (poslodavac zadovoljan)	Mišljenje o kompaniji zaposlenih koji su otišli	Atraktivnost oglasa	Posećenost profila na infostudu	Vreme selekcije	Stopa zadovoljstva novozaposlenim	Stopa odlazaka u prva tri meseca	Indeks zadovolistva zaposlenih	Nivo angažovanosti zaposlenih	Zadovolistvo platom	Zadovolistvo poslom	Ocena održanih obuka	Vreme provedeno na obuci	Trošak obuke po zaposlenom	Ažurnost evidencije
Efikasnost zaposlenih	5	5	3	3	3	5	3									5	5	5	5				
Zadovoljstvo zaposlenih	5		5	5	5	3	3	5	3	5						5	5	5	5				
Bolji međuljudski odnosi	5						1	5								5	5		5				
Timski rad	5						1	5								1	5		1				
Atraktivnost kompanije kandidatima/atraktivnost rada u kompaniji	4		1	5	5		5	5	3	5	3	5											
Povećanje kvaliteta selekcije	4												3	5	5								
Povećan kvalitet obuka	4			3	3												1			3	3	5	
Unapređenje kadrovske evidencije	3																						5

Nakon sprovođenja svih koraka modifikovanog Nemahauserovog algoritma dolazi se do dobijanja sledećih ključnih indikatora ovim redom:

1. Nivo angažovanosti zaposlenih koji pripada grupi zadovoljstva zaposlenih;
2. Stopa zadovoljstva novozaposlenim koji pripada grupi selekcija;
3. Broj unapređenja koji pripada opštoj grupi indikatora;
4. Ažurnost evidencije koji pripada grupi kadrovske evidencije;

Pošto nisu izabrani ključni indikatori performansi iz svih grupa, potrebno je subjektivnom metodom izabrati još dva ključna indikatora iz preostale dve grupe:

5. Ostanak zaposlenih koji pripada grupi fluktuacija i ostanak zaposlenih;
6. Trošak obuke po zaposlenom koji pripada grupi za razvoj zaposlenih;

3.2. Optimizacioni model celobrojnog pokrivanja

Kako bi proverili kvalitet rešenja koje je dobijeno u poglavlju 3.1. biće definisan modifikovan matematički model pokrivanja skupova. Opšti model koji je korišćen kao osnova za modifikaciju i kreiranje optimizacionog modela selekcije ključnih indikatora performansi je problem težinskog maksimalnog pokrivanja skupa (Du, Ko, & Hu, 2012).

Neka C predstavlja skup ciljeva, K predstavlja skup indikatora, a K_s predstavlja skup indikatora s-te grupe, $s = 1, \dots, n$, gde je n broj grupa indikatora i $\cup K_s = K$, $\cap K_s = \emptyset$. Neka w_i predstavlja težinu i-tog

indikatora. Za definisanje težine w_i potrebno je prvo da se izračuna prosek uticaja indikatora na ciljeve. To se dobija tako što se pomnoži važnost ciljeva sa uticajem indikatora na iste i sabere po indikatorima, što se može videti u Tabeli 1 u poglavlju 3.1. Nakon toga se proseci pomnože sa x_i, odnosno indikatorima koji su izabrani (ako je x_i = 1). Pošto se radi o maksimizaciji funkcije cilja, teži se da težina indikatora bude što veća, odnosno da imaju što veći uticaj na definisane ciljeve.

Neka a_{ij} predstavlja parametar:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1; \text{ ako } i - \text{ti indikator pokriva } j - \text{ti cilj} \\ 0; \text{ u suprotom} \end{cases}$$

Dok x_i i y_j predstavljaju varijable:

$$y_j = \begin{cases} 1; \text{ ako } j - \text{ti cilj pokriven} \\ 0; \text{ u suprotom} \end{cases}$$

$$x_i = \begin{cases} 1; \text{ ako } i - \text{ti indikator izabran} \\ 0; \text{ u suprotom} \end{cases}$$

Matematički model:

$$max \sum_{i \in K} w_i x_i$$

p.o.

$$\sum_{s \in K_s} x_i = 1, \ s = 1, \dots n, \tag{1}$$

$$\sum_{i \in K} a_{ij} x_i \geq y_j, \ j \in C, \tag{2}$$

$$\sum_{j \in C} y_j \geq m; \tag{3}$$

$y_j \in \{0, 1\}$, $j \in C$, koje označava da može da se izabere (1) ili ne izabere (0) odgovarajući cilj;
$x_i \in \{0, 1\}$, $i \in K$, koje označava da može da se izabere (1) ili ne izabere (0) odgovarajući indikator;

gde prvo ograničenje označava da mora da se izabere samo jedan indikator u okviru jedne grupe. Drugo označava da mora da postoji bar y_j indikatora koji utiče na svaki cilj $j \in C$; treće ograničenje označava da ukupan broj ciljeva koji su pokriveni indikatorima treba da bude bar jednak željenom broju ciljeva $m \leq |C|$. U slučaju da je potrebno pokriti sve ciljeve, problem se svodi na problem potpunog pokrivanja, odnosno m=$|C|$=8 i $y_j = 1, \ \forall j \in C$. Takav problem je rešavan bez trećeg ograničenja, odnosno u tom slučaju je ograničenje 3 redudantno.

Za rešavanje prethodno definisanog modela, koristiće se softver GLPK koji koristi GNU-MathProg jezik. GNU-MathProg je jezik koji je namenjen za opisivanje linearnih matematičkih modela. GNU MathProg jezik je podskup AMPL jezika i njegova primena u GLPK-u se uglavnom zasniva na papiru (Fourer, Gay, & Kernighan, 1990).

Pošto se posmatra maksimizacija funkcije cilja, odnosno sabiranje izabranih težina (w_i), kao rezultat se dobije da zajedno svi izabrani ključni indikatori performansi imaju težinu 34,78%. Međutim, pošto oni pokrivaju sve definisane ciljeve, može se zaključiti da je dovoljno da se prate samo tih 6 izabranih ključnih indikatora performansi, jer oni pokazuju uspešnost rada sektora ljudskih resursa.

Ovi indikatori su dobijeni i pomoću definisanog algoritma i subjektivnom procenom koje je prikazano u poglavlju 3.1, što znači da primenom obe metode, može da se kaže da su izabrani odgovarajući ključni indikatori performansi.

5. ZAKLJUČAK

Shodno tome da je nemoguće ispratiti veliki broj indikatora istovremeno, potrebno je definisati one ključne indikatore performansi koje će menadžment pratiti i istovremeno pokazati uspešnost rada sektora (u ovom slučaju ljudskih resursa). Na isti način, menadžment može da prati i celokupno poslovanje preduzeća i uvidi da li kompanija posluje na pravi način u skladu sa definisanom strategijom. Pre svega je potrebno utvrditi ciljeve kompanije ili sektora i zatim na osnovu toga izabrati indikatore pomoću kojih će se pratiti isti.

U ovom radu bilo je potrebno izabrati koji su to ključni indikatori performansi u sektoru ljudskih resursa, od 22 indikatora raspoređenih u 6 grupa, a da pri tome pokrivaju svih 8 ciljeva definisanih unapred. Za rešavanje ovog problema, primenjen je koncept minimalnog pokrivanja skupova, korišćenjem dve metode: modifikovanog algoritma ušteda (koji je predstavljao izbor ključnih indikatora performansi delom i subjektivnom metodom) i optimizacionog modela celobrojnog programiranja (koji je predstavljao izbor ključnih indikatora primenom matematičkom metodom koji je implementiran u odgovarajućem softveru). Kao rešenje, dobijeno je 6 ključnih indikatora iz svake grupe. Bez obzira na metod koji se izabere, dobiju se isti ključni indikatori performansi.

Prednost modifikovanog algoritma ušteda je to što se sam Nemhausov algoritam može modifikovati u zavisnosti od slučaja kompanije, odnosno od definisanih indikatora i ciljeva. Na veoma jednostavan način, primenom modifikovanog algoritma se može od velikog broja indikatora izabrati ko su ključni. Nedostatak bi bio taj da osoba koja treba da izabere ključne indikatore performansi mora da bude u potpunosti upoznata sa radom sektora ili kompanije i da sama proceni i modifikuje algoritam ukoliko je to potrebno.

Sa druge strane, optimizacioni model celobrojnog programiranja predstavlja izbor ključnih indikatora performansi korišćenjem softvera GLPK i jezika GNU-MathProg. Prednost ove metode je što omogućava da softver sam generiše koji su to ključni indikatori performansi. Međutim, pre toga je potrebno da korisnik ume da sastavi matematički model problema i razume softver.

Kako bi se uvidelo da li definisani ključni indikatori performansi obuhvataju i zadovoljstvo zaposlenih, predlog za dalje istraživanje je da se ispitaju i preferencije zaposlenih prema uslovima na radnom mestu na poslu, odnosno koje je to idealno radno mesto na kom bi zaposleni želeli da rade. Na ovaj način bi se obuhvatila celokupna slika organizacije, zadovoljstva zaposlenih u kompaniji i rada sektora ljudskih resursa.

LITERATURA

[1] Du, D.-Z., Ko, K.-I., & Hu, X. (2012). *Design and Analysis of Approximation Algorithms.*

[2] Fourer, R., Gay, D., & Kernighan, B. (1990). A Modeling Language for Mathematical Programming. U R. Fourer, D. Gay, & B. Kernighan, *Management Science 36.*

[3] Franceschini, F., Galetto, M., & Maisano, D. (2007). *Management by Measurement; Designing Key Indicators and Performance Measurement Systems.* Italy: Springer.

[4] *https://www.clearpointstrategy.com/human-capital-kpis-scorecard-measures/.* (n.d.). Preuzeto 20.05.2017

[5] *https://www.clearpointstrategy.com/human-capital-kpis-scorecard-measures/.* (n.d.). Preuzeto 20.05.2017

[6] Jevtić, M. (2016). *Definisanje ključnih indikatora performansi (KPI) poslovanja.* Beograd: MNG Centar - Centar za razvoj ljudskih resursa i menadžment.

[7] Marr, B. (2012). *Key Performance Indicators (KPI): The 75 measures every manager needs to know.* Great Britain.

[8] Marr, B. (n.d.). *https://www.linkedin.com/pulse/20140522054403-64875646-the-5-most-popular-tools-to-manage-performance-good-news-and-cautionary-tales*. Preuzeto 09.07.2017

[9] Nemahauser, G. L., & Wolsey, L. A. (1988). *Integer and Combinatorial Optimization.*

[10] Parker, R., & Rardin, R. (1988). *Discrete Optimization.* San Diego: Academic Press.

[11] Parmenter, D. (2010). *Key performance indicators : developing, implementing, and using winning KPIs.* Canada.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PERFORMANCE ANALYSIS, PREDICTION, AND WEIGHTING COEFFICIENTS ASSIGNMENT: A LITERATURE REVIEW

MILICA MARIČIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, milica.maricic@fon.bg.ac.rs

Abstract: *Nowadays, stakeholders are under constant pressure to make the right decision in the right time using the available information. The common questions they encounter are: How to measure the company's or country's performance?, How to weight the chosen performance indicators? and Can the chosen performance indicators be used for prediction? Unfortunately, there are no simple and straightforward answers to the arisen questions. So far, many approaches have been devised, but most of them do not take into account the possibility of maximization or minimization. The research area that has undergone substantial expansion and development in the past decade is the application of metaheuristics. Namely, metaheuristics are used to solve a wide range of real-life problems. This paper aims to provide a literature review on the use of metaheuristics to tackle the above-mentioned questions, especially on the issue of weighting coefficient assignment.*

Keywords: *Performance analysis, Prediction, Weighting coefficients, Metaheuristics, Neural Network, Portfolio optimization*

1. INTRODUCTION

Nowadays, stakeholders are under constant pressure to make the right decision in the right time using the available information. Business analytics, business statistics, big data analytics, and operational research are just some fields of science that aim to provide information which can be of value for decision-makers. The common questions stakeholders encounter are: How to measure the company's or country's performance?, How to weight the chosen performance indicators? and Can the chosen performance indicators be used for prediction? Metaheuristic emerge as an approach which can provide answers to all three observed issues. When it comes to the question of performance measurement, metaheuristics can be used to obtain an optimal solution which can act as benchmark. Next, metaheuristics can be used for prediction purposes. For example, Göçken et al. (2016) integrated metaheuristics and Artificial Neural Networks (ANN) to improve stock price prediction while Hafezi, Shahrabi, and Hadavandi (2015) combined metaheuristics, ANN and multi-agent system for stock prediction. Finally, metaheuristics are used with a lot of success in the weighting coefficients assignment (Socha & Blum, 2007). Before analysing in more detail how metaheuristics solve the observed issues, mainly the issue of weighting coefficients assignment, insights on metaheuristics are presented.

The term metaheuristic, first introduced in Glover (1986), derives from the composition of two Greek words: Heuristic derives from the verb *heuriskein* meaning "to find", while the suffix *meta* means "beyond, in an upper level" (Glover, 1986). There is no single definition of metaheuristics, therefore here are presented some of them. Osman and Laporte (1996) define metaheuristic as an iterative generation process which guides a subordinate heuristic by combining intelligently different concepts for exploring and exploiting the search space. Blum and Roli (2003) summarize that metaheuristics are not problem specific strategies which "guide" the search process with the goal to efficiently explore the search space in search for optimal solutions and that they may incorporate mechanisms to avoid getting trapped in confined areas of the search space.

Metaheuristics can be classified on several characteristics. The first one is nature-inspired and non-nature inspired. This classification is based on the origin of the idea of the algorithm (Beheshti & Shamsuddin, 2013). Some of the algorithms which are in the group of nature inspired algorithms are Ant Colony Optimization (ACO), Bee Colony Optimization (BCO) and Genetic Algorithm (GA). On the other hand, Tabu Search (TS), for example, is a non-nature inspired algorithm (Glover, 1989).

According to number of solutions used at the same time metaheuristics can be population-based and single point search (Talbi, 2009). In population-based metaheuristics, first a population is initialized, then, a

new population of solutions is generated, and finally, the newly created population is integrated into the current one using specific selection procedures (Glover & Kochenberger, 2003). Many nature-inspired metaheuristics are population-based (Yazdani & Jolai, 2016). Single point search, or trajectory methods, are based on a single starting solution whose neighbourhood they explore in the next steps (Blum & Roli, 2003). For example, Variable Neighbourhood Search (VNS) is a trajectory method (Hansen & Mladenovic, 2001).

Type of objective function can also be a classification characteristic. If the objective function the metaheuristics aims to optimize does not change during the search, the observed metaheuristics is using static objective function. On the other hand, if the objective function is modified by including the collected information during the search process then it is a metaheuristic with a dynamic objective function. Example of such a metaheuristic is Guided Local Search (GLS) (Voudouris & Tsang, 1999).

Also, and important classification attribute is whether the metaheuristics has memory of previous solutions or not. Algorithms that have memory have three features in common: first, they memorize solutions or characteristics of solutions generated during the search process; second, they include a procedure that creates an initial solution using the information stored in memory; third, they apply a local search method to improve the initial solution (Taillard, Gambardella, Gendreau, & Potvin, 2001). For GA and Scatter Search (SS), the memory is constituted by a population of solutions (Rodriguez-Fernandez, Egea, & Banga, 2006). Contrarily, simulated annealing (SA) does not use memory functions to influence the future search direction (Gogna & Tayal, 2013).

The specific problem which is aimed to be solved using metaheuristics is how to assign weights to certain entities or variables? Namely, researchers and decision makers often have to differentiate variables or entities, but there is no simple and single answer how to assign weight coefficients (Nardo et al., 2005). There are two basic weighting approaches – expert-driven, based on the opinion of experts, and data-driven, based on a chosen multivariate statistical methods (Yang, Yang, Xu, & Khoveyni, 2017). Nevertheless, nor expert-driven nor data-driven assign weights so as to maximize or minimize the final score or value. Therefore, in the last two decades metaheuristics, thanks to their applicability, became an alternative weighting approach. The aim of this paper is to present several wide research areas in which metaheuristics are applied to devise weights and to try to draw a pattern from the selected studies.

The structure of this work is as follows: In Section 2 the importance of weighting and the approaches to assigning weights are given. Section 3 sees the presentation of different occasions metaheuristics are used to assign weights, while the following section presents the basic of the most commonly used metaheuristics to solve the observed problem. Finally, the conclusions are provided.

2. THE IMPORTANCE AND APPROACHES TO ASSIGNING WEIGHTS

The problem researchers are often faced is the problem of the multidimensionality of the observed phenomenon. The question arises *how* to tackle and take into account the multidimensionality. One of the common solutions is to apply a weighting scheme (Decancq, Van Ootegem, & Verhofstadt, 2013). Nevertheless, weight assignment is not as easy as it seems. Small variations in weights can cause large shifts in ranks or final decisions. Also, it is usually unknown how large the impact of the chosen weights is (Lorenz, Brauer, & Lorenz, 2016).

Yang, Yang, Xu, and Khoveyni (2017) identify three types of approaches for weight assignment: subjective approaches, such as Analytic Hierarchy Process (AHP), objective approaches, such as Principal Component Analysis (PCA), and hybrid approaches which combine subjective and objective approaches and take advantage of both. No weighting approach is above criticism. Namely, subjective approaches are not applicable in some cases because subjective judgments cannot be provided on the relative importance of attributes (Yang et al., 2017). Also, they are based on expert opinion, and therefore such weights lack rationale and justification (Soh, 2014). On the other hand, the objective approaches can be rigid as they completely exclude the expert opinion which might be useful (Maricic, Bulajic, Martic, & Dobrota, 2015). Finally, when it comes to hybrid approaches the question of the balance between subjective and objective approach emerges (Radojicic, Savic, Radovanovic, & Jeremic, 2015).

One of the new objective approaches to assigning weights is the application of metaheuristics. Metaheuristics are not problem related so they can easily be applied to the specific problem of weight determination. There are several benefits of applying metaheuristics to solve the issue: First, they will assign weights which minimize or maximize the objective function, Second, expert opinion can be included through algorithm constraints, Third, they will always provide a solution within the defined solution space. Thanks to these benefits, the application of metaheuristics in this research area has intensified.

3. RELATED WORKS

The conducted literature review showed that metaheuristics have been used to devise weights in neural network training, portfolio optimization, and multi-objective problems.

The success of neural networks massively depends on their structure, their training algorithm, and the choice of features used in training. One of the issues that attracts the attention of the researchers is weights configuration associated with the minimum output error. Namely, common training algorithms, the back-propagation (BP) algorithm and Levenberq-Marquardt (LM), are gradient-based methods that have a risk of tackling local minima (Ozturk & Karaboga, 2011). To overcome the issue, metaheuristics are used to adjust the weights of neural networks. So far different metaheuristics have been employed to solve this issue. For example, Gudise and Venayagamoorthy (2003) applied PSO, Blum and Socha (2005) employed ACO, while Verma and Ghosh (2002) employed EA. Naure-inspired and population-based algorithms showed remarkable performance on training neural networks. Therefore, their advantages of global search methods have been implemented in other techniques to create hybrid approaches. Alba and Chicano (2004) combined local search gradient methods and GA, PSO is hybridized with local gradient search algorithm in the study done by Carvalho & Ludermir (2006) while adaptive PSO and BP are used by Zhang and associates (2007)

Portfolio optimization problems have become one of the important research fields in modern risk management and operation research. Namely, a decision maker must allocate a certain amount of wealth on several assets. The question which arises is on which assets to invest so as to have the return on their portfolio as large as possible, while at the same time, minimize the risk. Due to the complexity of the observed problem, in the last few decades, metaheuristics emerged as methods which could provide solutions. The problem is formatted as follows: the weight of individual stock of portfolio is unknown and should be optimized to reach a maximal possible solution. Chang, Yang, & Chang (2009) and Oh and associates (2006) proposed GA for portfolio optimization problems. On the other hand, Crama and Schyns (2003) applied SA to various portfolio models, while Loraschi and Tettamanzi (1996) and Anagnostopoulos and Mamanis (2011) applied EA. Saraei, Parsafard and Khajouri (2016) conducted a very interesting research. Namely, they employed PSO, a combination of PSO and GA, colonial competition (ICA) and modified Firefly algorithm (FA) to optimize a portfolio and compared the obtained weights. Weight suggested by modified FA yielded the lowest risk, while the PSO-GA yielded the highest return. Also, hybrid models are interesting. The concepts of SA were effectively combined with population-based algorithms, as done in Maringer and Kellerer (2003) while Subbu et al. (2005) presented a hybrid evolutionary algorithm that integrated GA with linear programming.

Multi-objective optimization or Pareto optimization is an area of multiple criteria decision making, that aims to simultaneously optimize problems which involve more than one objective function. Many real-world problems are modelled using multiple conflicting objectives, so the multi-objective optimization has become an integral part of optimization research (Deb & Deb, 2014). One of the problems of multi-objective optimization lies in the selection of the weights or utility functions which characterize the decision-maker's preferences towards objectives. To solve the issue Zitzler and Thiele (1998) use EA. Altiparmak et al. (2006), on the other hand, used GA and Sierra and Coello Coello (2005) optimized a multi-objective function using PSO. Also, hybrid approaches have been proposed. Xia and Wu (2005) combined PSO and SA to solve flexible job-shop scheduling problem, Gong, Zhang while Qi (2010) attempted to combine PSO and Differential Evolution (DE) to optimize environmental/economic power dispatch.

4. OVERVIEW OF THE COMMONLY USED METAHEURISTICS

The aim of this section is to briefly present the algorithms of metaheuristics which have been most commonly used to assign weighting coefficients.

Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is a population based algorithm (Beheshti & Shamsuddin, 2013). PSO is a stochastic optimization technique which is well adapted to the optimization of nonlinear functions in multidimensional space. Originally, it was designed for continuous optimization problems (Talbi, 2009). The idea of the PSO is that individuals, referred to as particles, are “flown” through hyperdimensional search space whereas they do not move without direction (Sierra & Coello Coello, 2005). They change position driven by the psychological tendency of individuals to emulate the success of other individuals. The concept of particle movement is graphically explained in Gudise and Venayagamoorthy (2003). Each particle is a potential solution, and in the observed case, a particle is a set of weights.

EA are based on the notion of competition and they simulate the evolution of species. At each step, individuals are selected to form the parents of the other generation, following the selection paradigm in which individuals with better fitness have a higher probability to be chosen as parents (Talbi, 2009). EA use variation operators such as crossover and mutation and replacement schemes to generate new offsprings.

What also makes EA applicable is that they do not require any requisite to the objective or fitness evaluation function (Talbi, 2009).

Genetic Algorithms were first proposed by John Holland (1975). They are motivated by the Darwinian principle of evolution through (genetic) selection (McCall, 2005). These algorithms employ evolutionary processes to evolve solutions and to find the best quality solution. This approach operates on a population of artificial chromosomes which represent a potential solution. At the beginning of the optimization, a random population of chromosomes is generated and in the next steps the evolution is mimicked to create a new generation of solutions. A good example of how GA work is given in Montana and Davis (1989). What also makes GA very appealing to researchers is their highly modular nature and their applicability to multiple real-life problems.

Ant Colony Optimization (ACO) is a nature-inspired metaheuristic which has memory. The inspiration for this metaheuristic was the foraging behaviour of real ant colonies. In nature, ants share information using pheromone trails, in the ACO algorithm, the pheromone trail is a type of memory through which simple agents, called artificial ants communicate (Dorigo & Di Caro, 1999). ACO stands out as it probabilistically builds a solution by iteratively adding solution components to partial solutions by taking into account information about the problem and information gathered through pheromone trails.

5. CONCLUSION

The issue of weight determination puzzles the researches and experts in various fields. One of the prominent methods for assigning weights and optimizing the objective function is by using metaheuristics. The herein provided literature review identified three major fields in which metaheuristics have been used with great success to assign weights: neural networks, portfolio optimization and multi-objective optimization.

We can conclude that the application of metaheuristics to devise weights is a promising field of study. Regarding the algorithmic approaches various algorithms have been utilized with more or less success. The presented overview showed that most commonly researchers used nature-inspired, population-based metaheuristic which have memory and have a static objective function. The metaheuristics which was employed with a lot of success in all three observed cases was PCO. Also, GA were used for their effective diversified search which shows good performances especially in multi-objective formulations of portfolio optimization (Di Tollo & Roli, 2008). What can also be concluded from the presented overview is that nature-inspired metaheuristics are combined with other metaheuristics to create hybrid approaches. The implementation of both traditional and new metaheuristics is, therefore, an important line of study. Namely, the combination with high-speed point algorithms such as TS, greedy algorithm, VNS, or other techniques might provide interesting results (Saraei et al., 2016).

Metaheuristics are continuously evolving, therefore, it can be expected that other research problems which include weights could be soon attempted to be solved using metaheuristics. This overview tries to propose metaheuristics as an approach to solving the problem of assigning weights. There is no doubt new results will improve those presented here and widen the area of applicability of the metaheuristics in solving the outlined problem.

REFERENCES

Alba, E., & Chicano, J. F. (2004). Training Neural Networks with GA Hybrid Algorithms. In *Genetic and Evolutionary Computation – GECCO 2004. GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 852–863). https://doi.org/10.1007/978-3-540-24854-5_87

Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., & Paksoy, T. (2006). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers & Industrial Engineering*, *51*(1), 196–215. https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.07.011

Anagnostopoulos, K. P., & Mamanis, G. (2011). The mean-variance cardinality constrained portfolio optimization problem: An experimental evaluation of five multiobjective evolutionary algorithms. *Expert Systems with Applications*, *38*(11), 14208–14217. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.233

Beheshti, Z., & Shamsuddin, S. (2013). A Review of Population Based Meta-Heuristic Algorithm. *Int. J. Advance. Soft Comput. Appl.*, *5*(1), 1–35.

Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, *35*(3), 189–213. https://doi.org/10.1007/s10479-005-3971-7

Blum, C., & Socha, K. (2005). Training feed-forward neural networks with ant colony optimization: An application to pattern classification. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Hybrid*

Intelligent Systems (HIS'05). https://doi.org/10.1109/ICHIS.2005.104
Carvalho, M., & Ludermir, T. B. (2006). Hybrid Training of Feed-Forward Neural Networks with Particle Swarm Optimization. In *Neural Information Processing. ICONIP 2006* (pp. 1061–1070). https://doi.org/10.1007/11893257_116
Chang, T.-J., Yang, S.-C., & Chang, K.-J. (2009). Portfolio optimization problems in different risk measures using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, *36*(7), 10529–10537. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.062
Crama, Y., & Schyns, M. (2003). Simulated annealing for complex portfolio selection problems. *European Journal of Operational Research*, *150*(3), 546–571. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00784-1
Deb, K., & Deb, K. (2014). Multi-objective Optimization. In *Search Methodologies* (pp. 403–449). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6940-7_15
Decancq, K., Van Ootegem, L., & Verhofstadt, E. (2013). What If We Voted on the Weights of a Multidimensional Well-Being Index? An Illustration with Flemish Data*. *Fiscal Studies*, *34*(3), 315–332. https://doi.org/10.1111/j.1475-5890.2013.12008.x
Di Tollo, G., & Roli, A. (2008). Metaheuristics for the portfolio selection problem. *International Journal of Operations Research*, *5*(1), 13–35.
Dorigo, M., & Di Caro, G. (1999). Ant colony optimization: a new meta-heuristic. *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)*, *2*, 1470–1477. https://doi.org/10.1109/CEC.1999.782657
Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers and Operations Research*, *13*(5), 533–549. https://doi.org/10.1016/0305-0548(86)90048-1
Glover, F. (1989). Tabu Search—Part I. *ORSA Journal on Computing*, *1*(3), 190–206. https://doi.org/10.1287/ijoc.1.3.190
Glover, F., & Kochenberger, G. A. (2003). *Handbook of metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers.
Göçken, M., Özçalıcı, M., Boru, A., & Dosdoğru, A. T. (2016). Integrating metaheuristics and Artificial Neural Networks for improved stock price prediction. *Expert Systems with Applications*, *44*, 320–331. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.09.029
Gogna, A., & Tayal, A. (2013). Metaheuristics: review and application. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, *25*(4), 503–526. https://doi.org/10.1080/0952813X.2013.782347
Gong, D., Zhang, Y., & Qi, C. (2010). Environmental/economic power dispatch using a hybrid multi-objective optimization algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *32*(6), 607–614. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2009.11.017
Gudise, V. G., & Venayagamoorthy, G. K. (2003). Comparison of particle swarm optimization and backpropagation as training algorithms for neural networks. In *Proceedings of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. SIS'03 (Cat. No.03EX706)* (pp. 110–117). IEEE. https://doi.org/10.1109/SIS.2003.1202255
Hafezi, R., Shahrabi, J., & Hadavandi, E. (2015). A bat-neural network multi-agent system (BNNMAS) for stock price prediction: Case study of DAX stock price. *Applied Soft Computing*, *29*, 196–210.
Hansen, P., & Mladenovic, N. (2001). Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, *130*(3), 449–467. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00100-4
Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. *Ann Arbor MI University of Michigan Press* (Vol. Ann Arbor). https://doi.org/10.1137/1018105
Loraschi, A., & Tettamanzi, A. (1996). An evolutionary algorithm for portfolio selection within a downside risk framework. *Forecasting Financial Markets, Series in Financial Economics and Quantitative Analysis*, 275–285.
Lorenz, J., Brauer, C., & Lorenz, D. (2016). Rank-Optimal Weighting or "How to be Best in the OECD Better Life Index?" *Social Indicators Research*. https://doi.org/10.1007/s11205-016-1416-0
Maricic, M., Bulajic, M., Martic, M., & Dobrota, M. (2015). Measuring the ict development: the fusion of biased and objective approach. *Naval Academy Scientific Bulletin*, *XVIII*(2), 2015.
Maringer, D., & Kellerer, H. (2003). Optimization of cardinality constrained portfolios with a hybrid local search algorithm. *OR Spectrum*, *25*(4), 481–495. https://doi.org/10.1007/s00291-003-0139-1
McCall, J. (2005). Genetic algorithms for modelling and optimisation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, *184*(1), 205–222. https://doi.org/10.1016/j.cam.2004.07.034
Montana, D. J., & Davis, L. (1989). Training Feedforward Neural Networks Using Genetic Algorithms. *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume 1*, *89*, 762–767. Retrieved from http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1623755.1623876
Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2005). *Handbook on*

constructing composite indicators. *OECD Statistics Working Papers*. https://doi.org/10.1787/533411815016

Oh, K. J., Kim, T. Y., Min, S. H., & Lee, H. Y. (2006). Portfolio algorithm based on portfolio beta using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, *30*(3), 527–534. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.10.010

Osman, I. H., & Laporte, G. (1996). Metaheuristics: A bibliography. *Annals of Operations Research*, *63*(5), 511–623. https://doi.org/10.1007/BF02125421

Ozturk, C., & Karaboga, D. (2011). Hybrid Artificial Bee Colony algorithm for neural network training. In *2011 IEEE Congress of Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 84–88). https://doi.org/10.1109/CEC.2011.5949602

Radojicic, M., Savic, G., Radovanovic, S., & Jeremic, V. (2015). A novel bootstrap dba-dea approach in evaluating efficiency of banks. *Naval Academy Scientific Bulletin*, *18*(2), 375–384.

Rodriguez-Fernandez, M., Egea, J. A., & Banga, J. R. (2006). Novel metaheuristic for parameter estimation in nonlinear dynamic biological systems. *BMC Bioinformatics*, *7*(1), 483. https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-483

Saraei, M., Parsafard, J., & Khajouri, S. (2016). A New Approach for Portfolio Optimization Problem Based on a Minimum Acceptance Level of Risk Using Firefly Meta-heuristic Algorithm. *Iranian Journal of Business and Economics*, *3*, 101–106.

Sierra, M. R., & Coello Coello, C. A. (2005). Improving PSO-Based Multi-objective Optimization Using Crowding, Mutation and E-Dominance. *Lecture Notes in Computer Science*, *3410*, 505–519. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31880-4_35

Socha, K., & Blum, C. (2007). An ant colony optimization algorithm for continuous optimization: Application to feed-forward neural network training. *Neural Computing and Applications*, *16*(3), 235–247. https://doi.org/10.1007/s00521-007-0084-z

Soh, K. (2014). Nominal versus attained weights in Universitas 21 Ranking. *Studies in Higher Education*, *39*(6), 944–951. https://doi.org/10.1080/03075079.2012.754866

Subbu, R., Bonissone, P. P., Eklund, N., Bollapragada, S., & Chalermkraivuth, K. (2005). Multiobjective financial portfolio design: a hybrid evolutionary approach. *2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, *2*, 1722–1729. https://doi.org/10.1109/CEC.2005.1554896

Taillard, E. D., Gambardella, L. M., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2001). Adaptive memory programming: A unified view of metaheuristics. *European Journal of Operational Research*. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00268-X

Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470496916

Verma, B., & Ghosh, R. (2002). A novel evolutionary neural learning algorithm. In *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation. CEC'02 (Cat. No.02TH8600)* (Vol. 2, pp. 1884–1889). IEEE. https://doi.org/10.1109/CEC.2002.1004530

Voudouris, C., & Tsang, E. (1999). Guided local search and its application to the travelling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, *113*, 469–499. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00099-X

Xia, W., & Wu, Z. (2005). An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, *48*(2), 409–425. https://doi.org/10.1016/j.cie.2005.01.018

Yang, G., Yang, J.-B., Xu, D.-L., & Khoveyni, M. (2017). A three-stage hybrid approach for weight assignment in MADM. *Omega*, *71*, 93–105. https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.09.011

Yazdani, M., & Jolai, F. (2016). Lion Optimization Algorithm (LOA): A nature-inspired metaheuristic algorithm. *Journal of Computational Design and Engineering*, *3*(1), 24–36. https://doi.org/10.1016/j.jcde.2015.06.003

Zhang, J.-R., Zhang, J., Lok, T.-M., & Lyu, M. R. (2007). A hybrid particle swarm optimization–back-propagation algorithm for feedforward neural network training. *Applied Mathematics and Computation*, *185*(2), 1026–1037. https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.07.025

Zitzler, E., & Thiele, L. (1998). Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms - A Comparative Case Study. *Proceedings of the International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, (September), 292–304. https://doi.org/10.1007/BFb0056872

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

IMPROVEMENT OF SOFTWARE DEVELOPMENT PROJECT PERFORMANCES WITH SCRUMBAN

NELA CVETKOVIĆ, SLOBODAN MORAČA[2], ANGELA FAJSI[3]

[1] Fakultet tehničkih nauka, nelacvetkovic@uns.ac.rs
[2] Fakultet tehničkih nauka, moraca@uns.ac.rs
[3] Fakultet tehničkih nauka, angela.sladic@gmail.com

Abstract: *This paper presents the case study on implementation of Kanban principles into the existing Scrum software development methodology in the case of game development company with aim to improve software development process. In order to investigate its effects on project performances, team productivity and effectiveness, velocity, defects rates and data from sprint retrospectives were used for comparison of current Scrum and proposed Scrumban method. Results show that by adding adequate Kanban principles based on needs of project and team, game development process was improved.*

Keywords: *project performance improvement, Scrumban, software development*

1. INTRODUCTION

There is a constant need for improvement and adaption of IT project management methodologies and frameworks in order to successfully manage the project constraints and overpass disruptive factors. Thus, over time, as a response to so-called "heavyweight" methodologies, which were said to entail extensive planning, up-front analyses and design [1], to be robust, bureaucratic and process-centric [2], Agile methods have been introduced to software development. Agile methodologies have proved to be useful when it comes to the important preconditions for successful projects: ability to respond and react to the changing needs of customers and to reduce delivery time [3]. On the other hand, the time-boxed processes [4], exhausting work scheduling, and non-applicability on large-scale projects, represent their most important demerits, causing the constant pressure on team to finish its sprint work on time in any circumstances, push system and in some cases wrong effort estimations and time waste. Next approach that has drawn attention as suitable for addressing these factors was Lean approach as new wave in software development [3].
Software developers have recognized various advantages of Lean approach, among which the most significant are: optimization of process flow, ability to deliver value to the customer more efficiently by finding and eliminating waste [3] and pull system. Lean approach that so far has been introduced in software development is Kanban. Kanban is seen as a continuous, flow-based substitute to time-boxed agile processes [4]. It is often combined with Scrum Agile methodology, as such being called – Scrumban.
In this paper, the Scrumban method was applied in an Alpha game development company. The existing Scrum methodology in the firm was modified by adding appropriate Kanban principles according to the identified needs. Team performance was measured before and after changes has been made. The results show positive effects of Scrumban on team's velocity, reduction of defects and communication.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1. Scrumban- Integration of Scrum and Kanban practices

Scrumban represents the combination of Scrum and Kanban principles. There is no unified definition describing Scrumban or obligatory practices and principles. The company rather combines Scrum or Kanban principles appropriate for their current needs.
Scrumban implies the agility especially distinctive for Scrum, and tendency to constant process improvement characteristic for Kanban. While Scrum model enables development teams to upgrade self-organization, collaboration, efficiency and work in small teams, Lean approach such as Kanban can emphasize those benefits through constant improvement [5].
As the main motivational factors for adoption of Kanban principles in agile software development and their integration with Scrum are [6]:

- Improvement of team communication;
- Improvement of development flow;
- Reduced lead time;
- Increased productivity;
- Better transparency in organization and of work;
- Better control of flow; focus on flow and absence of fixed iterations.

2.2. Overview of Scrum and Kanban principles and practices

Each company introduces the principles suitable for project needs and team characteristics. However, certain practices and principles are more used in integration with Kanban approach than the others. Those principles and practices are:

- Product and sprint backlog planning;
- Scrum roles: Product owner, Scrum master, Scrum team;
- Effort estimation and agile metrics;
- Sprint task board;
- Sprint meetings;
- Sprint demo and retrospective.

Each company introduces the principles suitable for project needs and team characteristics. However, certain practices and principles are more used in integration with Kanban.

2.3. Scrumban in practice

In software development, the main focus of Kanban is "to accurately state what work needs to be done and when it needs to be done, by prioritizing tasks and defining workflow as well as lead-time to delivery"[7].
Kanban, as in the case of Scrum and other Agile methodologies, sets the requirements and related work items and implements them incrementally. However, instead of time-boxed iterations represented in Scrum, the Kanban team chooses those work items and starts working on them when that is needed and there is capacity. The team develops features one after the other and as soon as it is ready, the team works only on one or very few at a time.
Basic Kanban principles, that are at the same time the most often used in combination with Scrum are [8]:
Limiting work in progress: Focus is on limiting work in progress according to capacity. This principle secures that work in every stage of development process cannot be started until there is an available appropriate resource, characterizing the mechanism as a pull system, "since the work is pulled into the process rather than pushed via a schedule" [7].
Visualization of the workflow: In order to enable the visualization, work items are presented on a Kanban board serving as a visual control mechanism. Various stages are represented by columns on the board and items are represented with cards. As work progresses through the development lifecycle, the cards move from first column on the left side towards the last column on the right side.
Measure and manage flow: This principle points out the necessity of measuring the flow by the team, in order to monitor the whole development process, occurred impacts, positive or negative. Furthermore, the measurement of lead-time and constant adjustment of the whole flow, in order to be as short as possible with aim to reduce or eliminate waste, makes the important aspect of this principle.

3. CASE STUDY- IMPLEMENTATION OF SCRUMBAN SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGY

3.1. Research methodology

The aim of this paper was to examine the influence of application of Kanban principles in Scrum software development process on project team performance. Firstly, the existing Scrum software development method in Alpha game development company was analysed based on previous 9 sprints. Following, the main challenges that team members are facing are identified and used as input to define the improvement directions. Based on the desired improvements, adequate modified Scrumban method was suggested. Scrumban method consists of existing Scrum practises and added Kanban principles. New software development process was tested during 10 iterations and team performance in both cases was compared. For this purpose metrics like velocity and defects count was used. Additionally, data from sprint retrospectives, supporting programs and notes from interview were analysed.

3.2. Analyses of the initial Scrum based software development process

The project team consists of creative director, game designer and 5 subteams: concept art, 3D art, level design, programming and QA. The main practices, principles and artefacts used are:
Product backlog: In this case backlog product is „Game design document". This document contains all game scenes/chapters with their rough description. The backlog items are prioritized by creative director and game designer.
Sprint and sprint backlog: There are two-week time-boxed iterations. Sprint backlog items are elements and objects of certain game scene. During the sprint duration, each member executes sprint items which go through different process phases.
Sprint planning and effort estimation: There is no traditional sprint planning. Since sprint backlog is made of elements and objects of one scene (small user stories), there is no need for sprint items planning. However, the team is revising the items together in order to discuss if the given effort estimation is realistic.
Virtual board and burn down charts are helping team members and product owner to track the progress of the sprint.
Scrum meetings as the goal have discussion about necessary corrections, current problems and further instructions.
Scrum retrospective helps team improve their further iterations.
Scrum demo represents the official representation to the product owner of functional sprint increment.

Velocity was analyzed and presented for each subteam except QA and for the whole development team. In this paper the planned and real velocity of the whole development team is shown in chart 1.

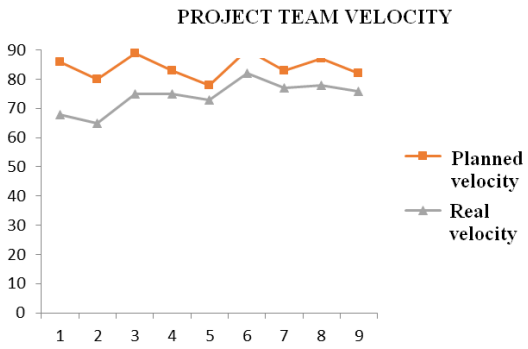


Chart 1. The planned and real team velocity

The chart shows that team had significant numbers of unfinished story points within the sprints, especially during the first three iterations.
Since all the unfinished project tasks from one sprint need to be reallocated to the next iterations, these delays caused serious bottlenecks. Furthermore, high number of defects was identified as results of pressure on team members to finish all the sprint items within the iteration.
To get deeper insight on team's performance, defects count and rework items are demonstrated in chart 2. The number of defects and rework items is represented for each of the subteams.

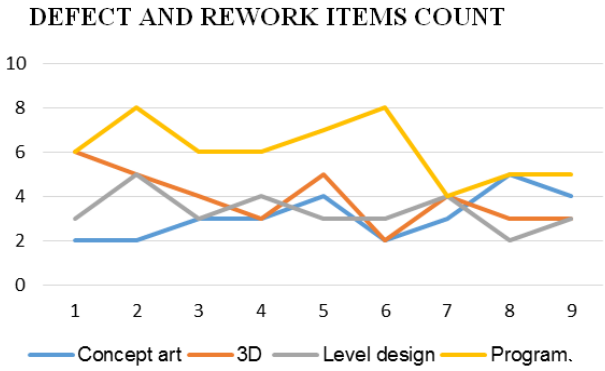


Chart 2. The number of defects and rework items per each team

The highest number of bags and needed rework is identified in Level design team. The main cause is the intensive communication Level design team had to have with 3D team members and Programming team, resulting in lack of time for execution of tasks and inefficient communication. Furthermore, it was concluded that there is a lack of team members, since only one employee is doing this tasks.

Finally, analysing the sprint retrospective notes, interview notes and data from Trello program, the main challenges project team is facing are defined:

- Incomplete tasks within a sprint;
- Poor effort estimation for certain user stories or its parts;
- Change requirement during the sprint;
- Idle time for some team members;
- Bottlenecks.

3.3. Improvements directions and suggested Kanban principles

Considering identified challenges in the software development process, the main improvement directions are emphasises:

- Improvement of work flow optimization;
- Improvement of efficiency metrics based on experience from previous iterations;
- Improvement of work flow transparency and team members' communication.

According to outlined above, adequate Kanban principles are suggested to be implemented and combined with existing Scrum practices, representing Scrumban method:

From "push" to "pull": In Scrumban the work is pulled as and when needed into a queue, unlike the approach used in a traditional Scrum where all the work to be completed within a sprint is assigned in the beginning of the sprint to the sprint backlog.

Constant backlog planning and prioritization: In Scrumban, the sprint backlog is not locked. The backlog consists of items prioritized and chosen by creative director and game designer. This way, changes during the sprint are acceptable and idle time avoided, since as soon as a team member finishes one work, in case there is free capacity, employee pulls next items and works on it.

Introduction of „ready" queue: This ready queue contains items that are pending from the backlog, but have high priority and are chosen by product owner.

Work items of similar complexity: The suggestion is to decompose all of the work items on tasks of similar sizes as much as possible. This way during the following iterations it is possible to establish approximate time standards for familiar tasks. Furthermore, team members will have more clear insight into the work scope and will be able to improve effort estimation.

WIP (work in progress) limits: This principle implies limiting the Product Backlog Items (PBIs) that are in progress at any point of time, including the sprint backlog. The idea is to keep team focused on completing work at hand rather than starting a new task. This means once a limit is reached within a particular stage of the workflow, rather than starting working on something new, it is time to help someone else within the team. This will ensure that the team's work flow becomes smoother and no stage becomes a bottleneck. The suggested Kanban board with WIP limits and "ready" queue is shown in chart 3.

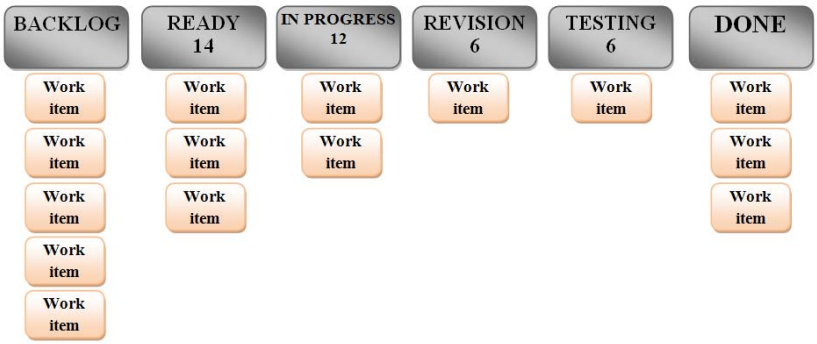


Chart 3. Kanban board with "ready" queue and WIP limits

Proposed Scrumban software development process practices and artefacts are briefly summarized in table 1.

Table 1. Overview of Proposed Scrumban model

Existing principles and practices	Modified principles and practices	New Kanban principles and practices
Product and Sprint Backlog		
	Sprint planning and effort estimation	Continuous backlog grooming
		Same size of tasks
Virtual table		„Ready“ queue
Burndown chart		
Scrum roles (team and product owner)		
		„Pull“ work
		WIP limits
Scrum meetings		
Sprint demo		
Sprint retrospective		

3.4. Analyses of the proposed Scrumban software development process

The effects of proposed Scrumban methodology on team performance were measured during 10 two-week iterations. Team velocity is presented in Chart 4.

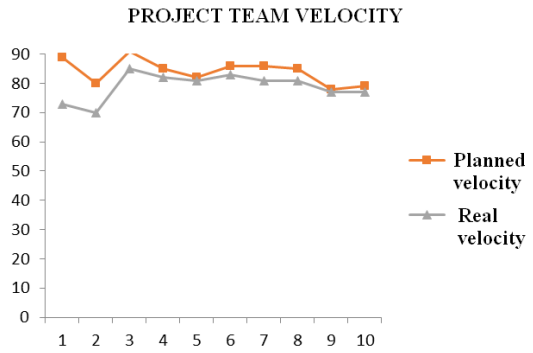


Chart 4. The planned and real Scrumban team velocity

It is noticed that new methodology has resulted with the first two iterations with low team velocity. However, after the third sprint team accomplishes significantly better velocity than with previous methodology. According to team members, the velocity of the first three iterations is the result of changes and new working practices which have required team members to adapt and learn. As in the case of initial software development process, defects and needed rework were monitored. The status of defects count after 10 iterations is shown in chart 5.

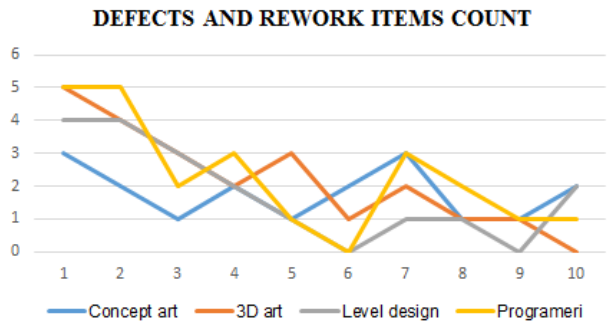


Chart 5. The number of defects and rework items per each Scrumban team

Although relatively high in first iterations, after the third sprint the number of defects and items demanded to be reworked has been significantly lower than in the first case. Furthermore, to the Level design team one more member has been added, optimizing the amount of work and capacities within that team.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The aim of this study was to test Scrumban approach adjusted for the software development process.
The main challenges team is facing were identified and suggestions for the improvement were created. By adding adequate Kanban principles based on needs of project and team, game development process was improved. Pull system and constant backlog grooming enabled team to be responsive to the change requirements without causing delays and unfinished items within sprint. WIP limits ensured that team members are focused on tasks they are executing at the moment and on solving potential problems and blocked items immediately, decreased the occurrences of bottlenecks. The practice of decomposing sprint items into similar-size tasks improved effort estimation process and facilitated the sprint progress monitoring. Additionally, it enabled team to establish average lead times for future iterations.
Considering the company, project nature and team structure, after 10 pilot iterations further suggestion is to eliminate completely sprints. Product owner should continue grooming backlog and prioritizing items. Eliminating time-boxed iterations the optimization of work flow would be even more improved due to more flexible and event-driven work planning.

5. ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technology Development of the Republic Serbia under Grant number TR-35050, for the period 2011-2017.

REFERENCES

[1] Destefanis, G., Tonelli, R., Concas G. and Marchesi, M. (2003). An analysis of anti-micro-patterns effects on fault-proneness in large Java systems. Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing, Melbourne, ACM 2003, pp. 1251-1253

[2] Scrum Alliance. Retrieved from www.scrumalliance.org, 2015, December 28.

[3] Corona, E. and Pani, F. (2013). A review of lean-kanban approaches in the software development. WSEAS transactions on information science and applications, vol. 10.

[4] Wang, X., Conboy, K. and Cawley, O. (2012). Leagile" software development: An experience report analysis of the application of lean approaches in agile software development. The Journal of Systems and Software, vol 85, pp. 1287– 1299.

[5] Mahnic, V. (2014). Improving Software Development through Combination of Scrum and Kanban. Recent Advances in Computer Engineering, Communications and Information Technology", pp. 281-288.

[6] Ahmad, M.O., Oivo, M. and Kuvaja, P. (2014). Usage of Kanban in Software Companies An empirical study on motivation, benefits and challenges. Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering Advances, Nice, 2014, pp. 150-155.

[7] Turner, R., Ingold, D., Lane, J.A., Madachy, R. and Anderson, D. (2012). Effectiveness of Kanban approaches in systems engineering within rapid response environments. New Challenges in Systems Engineering and Architecting, vol.8, pp. 309-314

[8] Anderson, D. (2010). Kanban-Successful Evolutionary Change for Your Technology Business, Seattle, David J. Anderson & Associates Inc.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

UTICAJ INDIKATORA PERFORMANSI TEHNOLOŠKOG MENADŽMENTA NA GLOBALNE INDEKSE ZA RANGIRANJE ZEMALJA

IMPACT OF TECHNOLOGY MANAGEMENT PERFORMANCE INDICATORS ON GLOBAL COUNTRY RANKINGS

MILICA JOVANOVIĆ[1], LENA ĐORĐEVIĆ[2], ALEKSANDRA MARINKOVIĆ[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, milica.jovanovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, lena.djordjevic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, aleksandra.marinkovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu se ispituju indikatori koji se odnose na aktivnosti upravljanja tehnologijom, a koriste za rangiranje zemalja pomoću kompozitnih indeksa. Bez obzira na značaj koji upravljanje tehnologijom ima za uspeh preduzeća i država, ne postoji jedinstvena mera za ocenu aktivnosti tehnološkog menadžmenta. Kompozitni indeksi koji su analizirani u ovom radu su Globalni indeks konkurentnosti, Globalni indeks preduzetništva i Sumarni indeks inovativnosti. Rezultati istraživanja su utvrdili udeo koji indikatori tehnološkog menadžmenta imaju u ovim indeksima, a zatim su pokazali da postoji značajna povezanost i uticaj vrednosti ovih indikatora na formiranje krajnjih skorova svih indeksa.*

Ključne reči: *Performanse tehnološkog menadžmenta, globalno rangiranje, kompozitni indeksi.*

Abstract: *This paper analyses the indicators related to the activities of managing technology, and are also used in ranking countries by composite indices. Although technology management is very important component of development for both enterprises and countries, there is no unique measure of technology management activities. Country rankings analysed in this paper are Global Competitiveness Index, Global Entrepreneurship Index, and Summary Innovation Index. The results show the share of technology management performance indicators in these indices, and that there is a significant correlation and impact of these indicators' values on the results of the calculated final scores.*

Keywords: *Technology management performance, global ranking, composite index.*

1. UVOD

Tehnologija se često navodi kao jedna od pokretačkih sila nacionalnog razvoja (OECD, 1999), te stoga predstavlja važnu varijablu na koju se može uticati u cilju poboljšanja konkurentnosti zemlje na globalnom tržištu. Takođe, tehnološki rast i razvoj predstavljaju glavne katalizatore (ali i ograničenja) globalne ekonomije (OECD, 1999) (Phaal, Farrukh, & Probert, 2001). Sa druge strane, upravljanje tehnologijom predstavlja bitnu sposobnost koja određuje uspeh na mikro nivou, nivou kompanije (Unsal & Cetindamar, 2015), ali se ovaj rad fokusira na upravljanje tehnologijom kao determinante konkurentnosti države i ističe značaj upravljanja tehnologijom na nivou nacionalne ekonomije. Eksponencijalni i neprekidni tehnološki razvoj i rast imaju jak uticaj na današnju globalnu ekonomiju. Strategije nauke, tehnologije i inovacije imaju značajnu, ako ne i ključnu ulogu u nacionalnom razvoju, i tehnološke karakteristike i kapaciteti se neprestano moraju unapređivati kako bi se zadržala kompetentnost i konkurentnost na tržištu (OECD, 2000) (National Research Council, 1987). Stoga je veoma važno upravljati tehnologijom, pratiti trendove tehnoloških promena i meriti učinak ovih upravljačkih aktivnosti. Merenje performansi tehnološkog menadžmenta (i na mikro i na makro nivou) je veoma aktuelan i realan problem (Unsal & Cetindamar, 2015) (Ács, Autiob, & Szerb, 2014) (Schuh & Kramer, 2016) i cilj ovog rada je istakne važnost merenja performansi vezanih za upravljanje tehnologijom na nacionalnom nivou i ispita uticaj upravljanja tehnologijom na pozicioniranje nacionalnih ekonomija na globalnom tržištu.

Kao rezultat sve veće „trke“ na globalnom nivou, u poslednjih nekoliko godina se pojavio veliki broj metodologija za globalno rangiranje zemalja. Ove metodologije se često fokusiraju na merenje ekonomskih aspekata jedne nacije, ali ima i određeni broj onih koje u posmatraju uspešnost zemalja sa društvenog aspekta. Merenje ovih performansi se zasniva na pristupu kompozitnih indeksa, gde se konačan rang dobija

kao rezultat agregacije brojnih pojedinačnih indikatora performansi. Kao podršku ovom pristupu praćenja uspešnosti upravljanja entitetima i Piter Draker ističe „Nikad ne treba posmatrati samo jednu meru uspeha u bilo kom poslovanju: Posmatrajte višestruke mere… Nikad neću prihvatiti ništa kao „pravu“ jedinstvenu meru efikasnosti, odustao sam od traženja pravih mera. Želim višestruke mere.“ (Drucker, 1970). Međutim, iako je kontrolisanje i praćenje menadžerskih aktivnosti je ključan proces svakog menadžerskog procesa, još uvek ne postoji jedinstveni globalni ideks koji se koncentriše isključivo na performanse naučnih, tehnoloških i inovacionih aktivnosti (Jovanović, Rakićević, Levi Jakšić, Petković, & Marinković, 2017). Stoga, ovaj rad ispituje indikatore performansi tehnološkog menadžmenta koji se koriste u metodologijama za globalna rangiranja. U radu se ističe učešće tehnološkog menadžmenta u merenju uspeha zemalja na globalnom nivou, kao i indikatori koji se koriste za merenje performansi tehnološkog menadžmenta. Takođe, cilj je da se utvrdi značaj upravljanja tehnologijom i razvojem na nivou nacionalne ekonomije kao i uticaj koji ovo upravljanje ima na sveukupni uspeh zemlje.

2. MERENJE PERFORMANSI TEHNOLOŠKOG MENADŽMENTA

Merenje performansi menadžerskih aktivnosti se može vršiti na osnovu dva pristupa: košrišćenjem pojedinačnih indikatora performansi ili računanjem kompozitnih indikatora (kompozitnih indeksa). Mnoge zvanične institucije poput OECD-a, Svetske banke, Eurostata, nacionalnih agencija i statističkih zavoda se bave ovim problemom. Oni redovno objavljuju vrednosti brojnih indikatora i indeksa u svojim godišnjim publikacijama, godišnjacima, izveštajima i Internet stranicama. Pojedinačni indikatori su najjednostavnije mere performansi koji su relativno laki za računanje i poređenje, ali nisu pogodni za razumevanje uzročno-posledičnih odnosa među različitim indikatorima istog posmatranog sistema. Što je još bitne, ne pružaju sveobuhvatnu procenu uspešnosti posmatranog entiteta, već se fokusiraju na pojedine aspekte razmatranog problema. Ovi nedostaci se uspešno prevazilaze uvođenjem koncepta kompozitnog indeksa. Kompozitni indeksi se dobijaju kao agregirane vrednosti pojedinačnih indikatora. Veoma su pogodni za merenje kompleksnih problema, zato što mogu obuhvatiti veliki broj indikatora koji posmatraju problem sa različitih aspekata (Zhou, Fan, & Zhou, 2010). S druge strane, iako teoretski izuzetno dobro rešenje, praktično izračunavanje ovih indeksa može predstavljati veoma izazovan proces zbog procesa određivanja težina ovih indikatora (Jovanović, Rakićević, Levi Jakšić, Petković, & Marinković, 2017).

Trenutno, postoje brojni indikatori koji se razvijaju i prate od strane OECD-a (OECD, 2016), ali zbog pomenutih ograničenja pojedinačnih indikatora nemaju sveobuhvatan pristup. Najpogodniji način pristupa ovom problemu bi bilo računanje kompozitnog indeksa za merenje performansi upravljanja tehnologijom, koji bi sagledao sve relevantne aspekte ovog problema, ali trenutno takav alat ne postoji.

Međutim, postoje brojne metodologije za globalno merenje performansi koje ne stavljaju u fokus upravljanje tehnologijom ali gde ona jeste prisutna kao značajan aspekt sveukupnih performansi posmatranog entiteta. Ove metodologije se razlikuju po tipu agregacije koje koriste i po pojedinačnim indikatorima koje koriste za kreiranje indeksa u zavisnosti od problema na koji se fokusiraju. Indeksi koji se posmatraju u ovom radu prate performanse kompleksnih ekonomskih fenomena kao što su konkurentnost, preduzetnička aktivnost i inovativnost. Ovi indeksi se trebaju češće koristiti i pratiti od strane Vlada zemalja kako bi se poboljšale performanse i fokusiralo na poboljšanje onih oblasti koje su ostvarile niske rezultate prema ovim merama. Oni se čak i pogrešno koriste u pojedinim zemljama kao sredstva političkih propagandi gde se samo određene vrednosti (pogodne za prikazivanje) prikazuju i pogrešno interpretiraju javnosti. Ovo ne treba da bude njihova svrha. Nacionalne strategije treba da budu definisane na osnovu pažljivog ispitivanja skupa indeksa i indikatora. Ovo ne znači da je dovoljno posmatrati ostvareni konačni rang zemlje na listi određen na osnovu definisanih metodologija. Rang predstavlja samo primarnu informaciju. Pravce unapređenja treba tražiti u vrednostima pojedinačnih indikatora i podindeksa od kojih su sastavljeni ovi indeksi. Pažljiva, detaljna analiza svakog indeksa je potrebna kako bi se razvili detaljni strateški pravci razvoja.

Globalni indeksi koji će se ispitivati u daljem radu su:

1. Globalni indeks konkurentnosti
2. Globalni indeks preduzetništva
3. Sumarni indeks inovativnosti

Globalni indeks konkurentnosti

Konkurentnost je veoma važna i kompleksna mera, koja podrazumeva veliki opseg različitih oblasti i aspekata performansi države. Sa aspekta indeksa analiziranih u ovom radu, indeks konkurentnosti je najsveobuhvatnijih, usled širokog raspona oblasti koji pokriva. Ovaj termin predstavlja sposobnost entiteta

da se takmiči na globalnom tržištu i zbog svoje kompleksnosti zahteva precizno definisane mere, što uključuje indikatore iz različitih oblasti, gde je upravljanje tehnologijom neizostavno. U cilju merenja konkurentnosti na globalnom nivou, Svetski ekonomski forum (WEF), od 2005. godine objavljuje godišnje izveštaje - Izveštaj globalne konkurentnosti za rangiranje zemalja zasnovan na kompozitnom indeksu koji je nazvan Globalnim indeksom konkurentnosti (World Economic Forum, 2015). Ovaj indeks sadrži informacije o makroekonomskim i mikroekonomskim aspektima privrede, i sastoji se od preko 100 pojedinačnih indikatora koji mere centralne delove ovih aspekata podeljene na 12 stubova.

Globalni indeks preduzetništva

Globalni indeks preduzetništva (engl. Global Entrepreneurship Index - GEI) kombinuje podatke o preduzećima sa podacima koji su od značaja za institucionalne komponentama, kako bi obezbedio detaljan uvid u preduzetnički ekosistem država. Ovaj kompozitni indeks predstavlja alat za razumevanje snaga i slabosti preduzetništva u privredi njihovih zemalja (Ács, Szerb, & Autiob, 2015). Indeks treba da obezbedi duboko razumevanje koncepta preduzetništva, ali i da meri kvalitet i obim preduzetničkih procesa. Indeks je kreiran tako da utvrdi performanse nacionalnog sistema preduzetništva za razliku od drugih indikatora zasnovanih na izlazu ili procesima. Svrha ovog indeksa nije jednostavno prebrojavanje novootvorenih preduzeća i u fokusu nije porast preduzetničkih aktivnosti, ali se uzimaju u obzir karakteristike preduzetništva koje unapređuju produktivnost, kao što su inovacije, širenje tržišta, orijentacija rasta i međunarodna perspektiva, čime se daje na značaju upravljanju tehnologijom. Globalni indeks preduzetništva je sastavljen od 3 podindeksa, dekomponovanih dalje na 14 stubova od kojih je svaki sastavljen od jedne institucionalne i jedne mikropromenljive (na nivou preduzeća), te se na taj način formira na osnovu vrednosti 28 indikatora (Ács, Szerb, & Autiob, 2015)..

Sumarni indeks inovativnosti

Sumarni indeks inovativnosti (engl. *The Summary Innovation Index* - SII) je kompozitni indikator, koji se od 2001. godine objavljuje u godišnjaku *Innovation Union Scoreboard* (IUS). Kreiran je od strane Evropske komisije i upoređuje performanse istraživanja i inovacija država članica Evropske unije. Njime se mere i ocenjuju snage i slabosti sistema inovacija kroz skup različitih indikatora (European Commission, 2015). Cilj objavljivanja je bio praćenje ostvarenja ciljeva u oblasti inovacija, postavljenih Lisabonskom strategijom u martu 2000. godine (Archibugi et al., 2009), što u potpunosti odgovara praćenju performansi tehnološkog menadžmenta iz oblasti monitoringa inovativnih aktivnosti. *Innovation Union Scoreboard* klasifikuje indikatore u 3 osnovne grupe: pokretači, aktivnosti kompanije i izlazi. Grupe su podeljene u 8 dimenzija inovacija i sastavljene od 25 indikatora (European Commission, 2015).

3. ISTRAŽIVANJE

Kako bi se istražili načini merenja performansi i uticaj tehnološkog menadžmenta potrebno je bilo sprovesti istraživanje nad definisanim skupom indeksa. Istraživanje je sprovedeno nad 3 predstavljena indeksa i obuhvatalo je sledeće korake:

1. Utvrđivanje pojedinačnih indikatora upravljanja tehnologijom koji se koriste u konstruisanju posmatranih indeksa;
2. Utvrđivanje učešća indikatora upravljanja tehnologijom u ukupnom broju indikatora;
3. Prikupljanje vrednosti indikatora i indeksa za 2016. godinu;
4. Utvrđivanje uticaja indikatora upravljanja tehnologijom na konačan rang zemlje prema posmatranoj metodologiji.

Kod prikupljanja indikatora upravljanja tehnologijom, identifikovani su indikatori koji se nalaze na najnižem nivou hijerarhije konstruisanja posmatranih indeksa, a odnose se na aktivnosti tehnološkog menadžmenta na nacionalnom nivou. Nakon što su identifikovani indikatori za svaki od 3 indeksa, izračunato je učešće indikatora tehnološkog menadžmenta kao procenat u odnosu na ukupan broj indikatora koji se koriste za konstrukciju indeksa. Nakon toga, kako bi se ispitao uticaj i značaj performansi upravljanja tehnologijom u odnosu na konkurentnost, preduzetničke aktivnosti i inovativnost, izračunati su koeficijenti korelacije (Pirsonov koeficijent korelacije) posmatranog skupa indikatora u odnosu na sveukupnu ocenu. Istraživanje je sprovedeno nad podacima objavljenim u 2016. godini u zvaničnim publikacijama posmatranih metodologija. Rezultati istraživanja su prikazani u nastavku.

Kao što je pomenuto prvi korak istraživanja je bilo da se za svaki posmatrani indikator iz skupa indikatora koji se koriste za konstruisanje indeksa, odrede oni koji su bitni za merenje performansi menadžmenta tehnologije. Kako bi se ovi indikatori bilo je potrebno detaljno ispitati teoretske koncepte koji se odnose na

tehnologiju i tehnološki menadžment, kako bi se utvrdile značajne oblasti i aktivnosti koje se nalaze u fokusu ispitivanja ovog fenomena. Nakon iscrpnog i detaljnog istraživanja za posmatrana tri indeksa su utvrđene liste indikatora koje se odnose na merenje performansi tehnološkog menadžmenta. U Tabeli 1 su prikazani rezultati prvog koraka istraživanja. Najveći broj indikatora koji se odnosi na posmatrani problem sadrži Globalni indeks konkurentnosti, ali ako u obzir uzmemo je da taj indeks konstruisan na bazi 112 različitih indikatora, vidimo da je učešće koje performanse tehnološkog menadžmenta imaju na formiranje globalnog ranga konkurentnosti 33,04%. S druge strane, kod merenja preduzetničkih aktivnosti na makro nivou, od ukupno 28 indikatora, 16 se odnose na upravljanje tehnologijom, što je preko 50% (57,14%). I na kraju, rezultati pokazuju da se Sumarni indeks inovativnosti u potpuno zasniva na indikatorima tehnološkog menadžmenta s obzirom na to da su svih 25 indikatora iz oblasti upravljanja tehnologijom.

Tabela 1: Učešće indikatora performansi tehnološkog menadžmenta (TM) u globalnim indeksima

Kompozitni indeks	Broj TM indikatora	Ukupan broj indikatora	% TM indikatora
Globalni indeks konkurentnosti	37	112	33,04%
Globalni indeks preduzetništva	16	28	57,14%
Sumarni indeks inovativnosti	25	25	100%

Dakle, rezultati istraživanja ukazuju na izuzetan značaj upravljanja performansama tehnološkog menadžmenta na nacionalnom nivou. Svaki od posmatranih indeksa ima značajan broj (i relativan i apsolutan) indikatora upravljanja tehnologijom koji u određenoj meri determinišu poziciju na globalnom tržištu. Naravno, različita učešća zavise od posmatranog fenomena koji se meri (konkurentnost, preduzetništvo i inovativnost). Tako se potpuno očekivano učešće povećava u zavisnosti od povezanosti posmatranog problema sa aktivnostima upravljanja tehnologijom, ali je neminovna izuzetna povezanost ovih indeksa sa indikatorima performansi tehnološkog menadžmenta. Međutim, kako bismo utvrdili uticaj vrednosti performansi upravljanja tehnologijom na konačno pozicioniranje zemalja prema posmatranim elementima, izvršili smo izračunavanje koeficijenata korelacije vrednosti identifikovanih indikatora sa konačnim (agregiranim) vrednostima na osnovu kojih su zemlje rangirane.

Kako bi se sproveo ovaj deo istraživanja, bilo je neophodno prikupiti podatke za sve identifikovane indikatore po svim metodologijama. Podaci su prikupljeni za indekse koji su objavljeni 2016. godine i u odnosu na njih su izračunati Pirsonovi koeficijenti korelacije, pošto se ova analiza pokazala kao veoma pogodna u sličnim istraživanjima (OECD & European Commission, 2008); (Becker, Saisana, Paruolo, & Saltelli, 2015) (Jacobs, Smith, & Goddard, 2004). Koeficijenti korelacije su izračunati za svaki identifikovani indikator tehnološkog menadžmenta u odnosu na konačni skor indeksa čiji je deo, ali će se u ovom radu, zbog obimnosti, prikazati samo tri indikatora sa najvišim i najnižim ostvarenim vrednostima korelacija (tabele 2-4). Tabela 2 pokazuje rezultate ostvarene u odnosu na Globalni indeks konkurentosti. Najveći koeficijent korelacije je ostvaren za indikatore Izdvajanja kompanije za istraživanje i razvoj, 0,9611 dok je najniži ostvaren sa Internet pretplatnicima od 0,2689. Ono što se ne vidi iz prikazanih rezultata je da čak 34 od 37 indikatora ima koeficijent korelacije iznad 0,5, odnosno srednji do visoki uticaj na stepen konkurentnosti zemalja, što pokazuje veliku povezanost ovog fenomena sa performansama tehnološkog menadžmenta.

Tabela 2: Koeficijenti korelacije indikatora Globalnog indeksa konkurentnosti

Indikator tehnološkog menadžmenta	Korelacija sa finalnim skorom
Izdvajanja kompanije za istraživanje i razvoj	0,9611
Inovacioni kapacitet	0,9397
Kvalitet naučno-istraživačkih institucija	0,9349
Broj dostupnih sedišta u aviokompanijama	0,3876
Broj pretplatnika mobilne telefonije	0,3372
Internet pretplatnici	0,2689

Rezultati prikazani u Tabeli 3 koji se odnose na rezultate Globalnog indeksa preduzetništva se takođe može uočiti izuzetno velika korelacija ostvarenog finalnog skora sa visokim rezultatima indikatora performansi tehnološkog menadžmenta, pa se čak i oni indikatori koji se nalaze među tri sa najnižim stepenom korelacije mogu svrstati u srednje jake povezanosti sa rezultatima ostvarenih preduzetničkih aktivnosti, što opet ukazuje na veliku povezanost rezultata preduzetničkih aktivnosti i uspešnog upravljanja tehnologijom.

Tabela 3: Koeficijenti korelacije indikatora Globalnog indeksa konkurentnosti

Indikator tehnološkog menadžmenta	Korelacija sa finalnim skorom
Bruto domaća ulaganja u istraživanje i razvoj	0,8951
Izvoz	0,8951
Percepcija veština	0,7960
Tehnološki nivo	0,6567
Tehnološki transfer	0,6567
Apsorpcija tehnologije	0,5703

Na kraju, Tabela 4 prikazuje u kakvom su odnosu indikatori tehnološkog menadžmenta identifikovani u Sumarnom indeksu inovativnosti. Generalno, veliki broj indikatora ima visok nivo pozitivne korelacije sa finalnim skorom ovog indeksa, od čega su najcitiranije naučne publikacije u najvišoj korelaciji od 0,9213. S druge strane, postoje i indikatori koji imaju slab nivo korelacije, a troškovi inovacija koji ne potiču iz istraživanja i razvoja čak imaju i slabu negativnu korelaciju.

Tabela 4: Koeficijenti korelacije indikatora Sumarnog indeksa inovativnosti

Indikator tehnološkog menadžmenta	Korelacija sa finalnim skorom
Naučne publikacije koje se nalaze u 10% najcitiranijih publikacija	0,9213
Međunarodne naučne ko-publikacije na milion stanovnika	0,8396
Mala i srednja preduzeća (MSP) koja se bave *in-house* inovacijama u odnosu na ukupan broj MSP	0,8013
Prodaja novih preduzeća tržištu i firmama inovatorima kao % ukupnog prometa	0,1991
% mladih od 20-24 godina koji imaju barem srednje školsko obrazovanje	0,0754
Troškovi inovacija koji se ne odnose na istraživanje i razvoj kao % ukupnog prometa	-0,1872

Međutim, kako bi se sagledala sveukupna uslovljenost vrednosti indikatora tehnološkog menadžmenta sa rezultatima ostvarenim rangiranjem pomoću posmatranih kompozitnih indeksa, urađene su prosečne korelacije svih posmatranih indikatora i rezultati su prikazani u Tabeli 5. Rezultati ukazuju na umerenu (0,5-0,7) do jaku korelaciju (>0,7) indikatora tehnološkog menadžmenta i finalnih skorova globalnih indeksa, čime se potvrđuje visoka uslovljenost dobrog upravljanja tehnologijom na nacionalnom nivou i rezultata nacionalnih performansi na globalnom tržištu. Time se neminovno ističe i potvrđuje značaj dobrog upravljanja performansama u oblasti tehnološkog menadžmenta.

Tabela 5: Prosečna korelacija indikatora performansi tehnološkog menadžmenta

Kompozitni indeks	Prosečna korelacija indikatora sa finalnim skorom
Globalni indeks konkurentnosti	0,7565
Globalni indeks preduzetništva	0,7291
Sumarni indeks inovativnosti	0,5689

4. ZAKLJUČAK

U današnjem okruženju je nepotrebno pravdati i isticati značaje tehnologije i tehnološkog razvoja, pošto je skoro svaki sekund našeg života nezamisliv bez korišćenja tehnologije.

U ovakvom društvu, tehnološki kapaciteti nisu ti koji prave razliku, već uspešno upravljanje tehnologijom. Kao što je to slučaj sa svakom vrstom menadžmenta, ključan aspekt je merenje performansi menadžerskih aktivnosti kako bi bilo moguće da se proces kontroliše, identifikuju nedostaci, definišu poboljšanja i izvuku implikacije za buduće pravce razvoja. Tehnološki menadžment može da se posmatra sa mikro nivoa (preduzeća) i makro nivoa (države). U ovom radu fokus je bio na upravljanju tehnologijom na nacionalnom nivou. Iako se poslednjih godina javlja dosta metodologija koje rangiraju zemlje prema različitim aspektima, još uvek ne postoji metodologija koja prati performanse tehnološkog menadžmenta na nacionalnom nivou. Zbog toga smo se u ovom radu fokusirali na ispitivanje indikatora postojećih metodologija za globalno rangiranje: Globalnog indeksa konkurentnosti, Globalnog indeksa preduzetništva i Sumarnog indeksa inovativnosti.

Istraživanjem su se identifikovali indikatori tehnološkog menadžmenta u posmatranim metodologijama, kao i njihov uticaj na finalni rezultat zemalja. U posmatranim metodologijama postoji 78 indikatora (od

ukupno 165) koji mere tehnološke performanse na nacionalnom nivou, uz implikaciju da indikatori tehnološkog menadžmenta imaju značajan uticaj na konačni ocenu performansi zemlje za sve ispitane metodologije što je utvrđeno ispitivanjem Pirsonovog koeficijenta korelacije ovih indikatora sa krajnjim skorom svake države. Time se dolazi do zaključka da je izuzetno bitno da se upravlja tehnologijom na makro nivou, što zahteva razvijanje specifičnih alata koji će meriti ovo upravljanje i time ukazati na dalje pravce razvoja i unapređenja. Pravilna i precizna implementacija ovakvog alata bi bila od izuzetnog značaja za kreatore politika i strategija, koji bi koristio tehnike za poređenje ostvarenih rezultata sa definisanim ciljevima i u skladu sa tim određivao pravce budućih strategija i politika.

LITERATURA

[1] Ács, Z. J., Autiob, E., & Szerb, L. (2014). National Systems of Entrepreneurship: Measurement issuesand policy implications. *Research Policy, 43*, 476– 494.

[2] Ács, Z. J., Szerb, L., & Autiob, E. (2015). *Global Entrepreneurship Index 2015.* Washington, D.C., USA: The Global Entrepreneurship and Development Institute. Retrieved from https://thegedi.org/product/2015-global-entrepreneurship-index/

[3] Archibugi, D., Denni, M., & Filippetti, A. (2009). The technological capabilities of nations: The state of the art of syntetic indicators. *Technological Forecasting and Social Change, 76*(7), 917-931.

[4] Becker, W., Saisana, M., Paruolo, P., & Saltelli, A. (2015). Measuring the importance of variables in composite indicators. *CLADAG 2015: 10th Scientific Meeting of the Classification and Data Analysis Group.* Cagliari, IT.

[5] Drucker, P. (1970). *Technology, Management and Society.* New York: Routledge.

[6] European Commission. (2015). *Innovaton Union Scoreboard 2015.* Brussels, Belgium : European Union. doi:http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/9965/attachments/1/translations/en/renditions/pdf

[7] Jacobs, R., Smith, P., & Goddard, M. (2004). *Measuring performance: An examination of composite performance indicators.* Retrieved from University of York: https://www.york.ac.uk/che/pdf/tp29.pdf

[8] Jovanović, M., Rakićević, J., Levi Jakšić, M., Petković, J., & Marinković, S. (2017). Composite Indices in Technology Management - A Critical Approach. In V. Jeremić, Z. Radojičić, & M. Dobrota, *Emerging Trends in the Development and Application of Composite Indicators* (pp. 38-71). Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-5225-0714-7.ch003

[9] National Research Council. (1987). *Management of Technology: The Hidden Competitive Advantage.* Washington, DC: National Academy Press

[10] OECD. (1999). *The Future of the Global Economy: Towards a Long Boom?* Paris, France: OECD.

[11] OECD. (2000). *Science, Technology and Innovation in the New Economy.* Retrieved from OECD: https://www.oecd.org/science/sci-tech/1918259.pdf

[12] OECD. (2016). *Main Science and Technology Indicators.* Retrieved from OECD: http://www.oecd.org/sti/inno/MSTI_documentation_e.pdf

[13] OECD, & European Commission. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide.* Retrieved from OECD: http://www.oecd.org/std/leading-indicators/42495745.pdf

[14] Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). A framework for supporting the management of technological innovation. *Proceedings of the Eindhoven Centre for Innovation Studies (ECIS) conference.* The Future of Innovation Studies, Eindhoven, 20–23 September

[15] Schuh, G., & Kramer, L. (2016). Cybernetic approach for controlling technology management activities. *Procedia CIRP 41* (pp. 437 – 442). Elsevier.

[16] Unsal, E., & Cetindamar, D. (2015). Technology management capability: definition and its measurement. *European International Journal of Science and Technology, 4*(2), 181-196.

[17] World Economic Forum. (2015). *Global Competitiveness Report 2015-2016.* Geneva, Switzerland: World Economic Forum. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf

[18] Zhou, P., Fan, L. W., & Zhou, D. Q. (2010). Data aggregation in constructing composite indicators: A perspective of information loss. *Expert Systems with Applications, 37*(1), 360-365

2017

EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

HAOTIČNI MODEL RASTA GINI KOEFICIJENTA

THE CHAOTIC GINI COEFFICIENT GROWTH MODEL

VESNA D. JABLANOVIC

University of Belgrade, Faculty of Agriculture, vesnajab@ptt.rs

Rezime. *Gini koeficijent predstavlja indeks kojim se meri nejednakost .U ekonomiji, nejednakost dohotka se na Gini skali meri izmedju 0 (savršena jednakost u raspodeli dohotka) i 1 (savršena nejednakost u raspodeli dohotka). Osnovni cilj ovog rada je kreirati relativno jednostavan , haotični model rasta Gini koeficijenta koji ima mogućnost da generiše stabilnu ravnotežu, cikluse ili haos u zavisnosti od vrednosti parametra.*

Ključne reči: Gini koeficijent, Stabilnost, Haos.

Abstract *The Gini coefficient provides an index to measure inequality. In economics, income inequality on the Gini scale is measured between 0 (perfect income equality) and 1(perfect income inequality) . The basic aim of this paper is to provide a relatively simple the Gini coefficient growth model that is capable of generating stable equilibrium, cycles, or chaos depending on parmeter values.*

Key words: The Gini coefficient, Stability, Chaos.

1. INTRODUCTION

The Gini coefficient demonstrates how the distribution of income has changed within a country or region over a period of time. Global inequality ranges from 0.55 to 0.70 depending on the measure used (Debla-Noris et al, 2015 pp. 9). The high level of global inequality reflects sizeable per capita income disparities across countries, which account for around three quarters of global inequality (Milanovic 2013). The concentration of global wealth is rising. However, inequality is more extreme in wealth than income (Debla-Noris et al, 2015 pp. 16).

In most OECD countries, the gap between rich and poor is at its highest level since 30 years. Today, the richest 10 per cent of the population in the OECD area earn 9.5 times the income of the poorest 10 per cent; in the 1980s this ratio stood at 7:1 and has been rising continuously ever since (Cingano, 2014). Drawing on harmonised data covering the OECD countries over the past 30 years, His econometric analysis suggests that income inequality has a negative and statistically significant impact on subsequent growth. His analysis shows that increased income disparities depress skills development among individuals with poorer parental education background, both in terms of the quantity of education attained (e.g. years of schooling), and in terms of its quality (i.e. skill proficiency). Educational outcomes of individuals from richer backgrounds, however, are not affected by inequality. Redistribution policies are an important tool to ensure the benefits of growth, and to promote equality of opportunity in access to and quality of education (Cingano, 2014).

Widening income inequality is the defining challenge of our time. In advanced economies, the gap between the rich and poor is at its highest level in decades. Inequality trends have been more mixed in emerging markets and developing countries (EMDCs), with some countries experiencing declining inequality, but pervasive inequities in access toeducation, health care, and finance remain (Debla-Noris et al, 2015).Their analysis suggests that the income distribution itself matters for growth as well. For example , if the income share of the top 20 percent (the rich) increases, then GDP growth actually declines over the medium term, suggesting that the benefits do not trickle down. An increase in the income share of the bottom 20 percent (the poor) is associated with higher GDP growth. (Debla-Noris *et al,* 2015).

Milanovic (2009) makes an estimate of global inequality (inequality among world citizens) in the early 19th century. His analysis shows that the level and composition of global inequality have changed over the past two centuries. The level has increased, reaching a high plateau around the 1950s. The main factors of global inequality have become differences in mean country incomes rather than inequalities within nations.

Chaos theory started with Lorenz's (1963) discovery of complex dynamics arising from three nonlinear differential equations leading to turbulence in the weather system. Li and Yorke (1975) discovered that the simple logistic curve can exibit very complex behaviour. Further, May (1976) described chaos in population biology. Chaos theory has been applied in economics by Benhabib and Day (1981,1982), Day (1982, 1983,1997,), Grandmont (1985), Goodwin (1990), Medio (1993), Medio, A. and Lines, M (2001), Lorenz (1993), Jablanovic (2011 , 2013 , 2016) , among many others.

The basic aim of this paper is to provide a relatively simple the Gini coefficient growth model that is capable of generating stable equilibrium, cycles, or chaos depending on parmeter values.

2. THE MODEL

The Gini coefficient growth rate is measured by

$$\frac{g_{t+1} - g_t}{g_t} \tag{1}$$

It is postulated that the growth rate at time t should be proportional to $(1 - g_t)$. In this case, the growth of the Gini coefficient should change according th the following equation, after introducing a suitable parameter γ

$$\frac{g_{t+1} - g_t}{g_t} = \gamma\,(1 - g_t) \tag{2}$$

Solving the last equation yields the Gini coefficient growth model, i.e.,

$$g_{t+1} = (1+\gamma)\, g_t - \gamma\, g_t^2 \tag{3}$$

This model given by equation (3) is called the logistic model. For most choices of γ , there is no explicit solution for (3). Namely, knowing γ and measuring g_0 would not suffice to predict g_t for any point in time, as was previously possible. This is at the heart of the presence of chaos in deterministic feedback processes. Lorenz (1963) discovered this effect - the lack of predictability in deterministic systems. Sensitive dependence on initial conditions is one of the central ingredients of what is called deterministic chaos.

This kind of difference equation (3) can lead to very interesting dynamic behavior , such as cycles that repeat themselves every two or more periods, and even chaos, in which there is no apparent regularity in the behavior of g_t. This difference equation (3) will posses a chaotic region. Two properties of the chaotic solution are important : firstly, given a starting point g_0 the solution is highly sensitive to variations of the parameter γ ; secondly, given the parameter γ , the solution is highly sensitive to variations of the initial point g_0. In both cases the two solutions are for the first few periods rather close to each other, but later on they behave in a chaotic manner.

The logistic map is often cited as an example of how complex, chaotic behaviour can arise from very simple non-linear dynamical equations. The map was popularized in a seminal 1976 paper by the biologist Robert May. The logistic model was originally introduced as a demographic model by Pierre François Verhulst.

It is possible to show that iteration process for the logistic equation

$$z_{t+1} = \pi z_t (1 - z_t) \ , \pi \in [0 ,4] \ z_t \in [0 ,1] \tag{4}$$

is equivalent to the iteration of growth model (3) when we use the identification

$$z_t = \frac{\gamma}{\gamma+1} g_t \quad \text{and} \quad \pi = \gamma+1 \tag{5}$$

Using (5) and (3) we obtain

$$z_{t+1} = \frac{\gamma}{\gamma+1} g_{t+1} = \frac{\gamma}{\gamma+1} [(1+\gamma) g_t - \gamma g_t^2] =$$

$$= \gamma g_t - \frac{\gamma^2}{\gamma+1} g^2_t$$

Using (4) and (5) we obtain

$$z_{t+1} = \pi z_t (1 - z_t) = (\gamma+1) \frac{\gamma}{\gamma+1} g_t (1 - \frac{\gamma}{\gamma+1} g_t)$$

$$= \gamma g_t - \frac{\gamma^2}{\gamma+1} g^2_t$$

Thus we have that iterating (3) is really the same as iterating (4) using $z_t = \frac{\gamma}{\gamma+1} u_t$ and $\pi = \gamma+1$. It is important because the dynamic properties of the logistic equation (4) have been widely analyzed (Li and Yorke (1975), May (1976)).

It is obtained that :

(i) For parameter values $0 < \pi < 1$ all solutions will converge to $z = 0$;
(ii) For $1 < \pi < 3{,}57$ there exist fixed points the number of which depends on π;
(iii) For $1 < \pi < 2$ all solutions monotnically increase to $z = (\pi - 1) / \pi$;
(iv) For $2 < \pi < 3$ fluctuations will converge to $z = (\pi - 1) / \pi$;
(v) For $3 < \pi < 4$ all solutions will continously fluctuate;
(vi) For $3{,}57 < \pi < 4$ the solution become "chaotic" wihch means that there exist totally aperiodic solution or periodic solutions with a very large, complicated period. This means that the path of z_t fluctuates in an apparently random fashion over time, not settling down into any regular pattern whatsoever.

Important parameter π values " 0, 1 , 1, 2, 3 " are part of the Fibonacci sequence. The Fibonacci Sequence is the series of numbers: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ... Namely, each number is the sum of the two numbers before it. If we make squares with those widths, we get a nice spiral. Because the Fibonacci sequence starts small and "grows" outwardly proportionately, it was given a visual representation of a spiral, The Golden Spiral. Also, if we take any two successive, important values of parameter π , (" 2, 3 ") , their

ratio is very close to the Golden ratio which is approximately 1.618034... For example 3/2 is 1.5. The golden ratio that has approximate value of 1.618. The golden ratio and the golden rectangle are connected. This is because the ratio of the longer side of a golden rectangle to the shorter side is equal to the golden ratio ($1^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 5^2 + 8^2 + \ldots$) (Jablanovic, 2016. pp. 49).

3. CONCLUSION

This paper created the chaotic Gini coefficient growth model . The model (3) has to rely on specified parameter γ and initial value of the Gini coefficient, g_0. But even slight deviations from the values of parameter γ and initial value of the Gini coefficient, g_0 , show the difficulty of predicting a long-term Gini coefficient movement.

A key hypothesis of this work is based on the idea that the coefficient $\pi = \gamma+1$ plays a crucial role in explaining local growth stability of the Gini coefficient , where γ – the suitable parameter..

REFERENCES

[1] Benhabib , J. & R.H. Day (1981). Rational Choice and Erratic Behaviour. Review of Economic Studies 48 : 459-471.

[2] Benhabib , J & R.H. Day (1982). Characterization of Erratic Dynamics in the Overlapping Generation Model , Journal of Economic Dynamics and Control 4: 37-55 .

[3] Cingano, F. (2014). Trends in Income Inequality and its Impact on Economic Growth OECD Social, Employment and Migration Working Papers , No. 163, OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/5jxrjncwxv6j-en

[4] Dabla-Norris E., K. Kochhar, N. Suphaphiphat, F. Ricka, E. Tsounta (2015). Causes and Consequences of Income Inequality: A Global Perspective. IMFStaff Discussion Note, IMF. https://www.imf.org/external/pubs/ft/sdn/2015/sdn1513.pdf

[5] Day, R.H. (1982). Irregular Growth Cycles . American Economic Review 72: 406-414.

[6] Day, R.H. (1983). The Emergence of Chaos from Classica Economic Growth . Quarterly Journal of Economics 98: 200-213.

[7] Day, R.H. (1997). Complex Economic Dynamics Volume I: An introduction to dynamical systems and market mechanism . MIT Press, In: Discrete Dynamics in Nature and Society, Vol. 1 . 177-178.

[8] Goodwin, R.M. (1990). Chaotic Economic Dynamics. Clarendon Press, Oxford .

[9] Grandmont, J.M. (1985) .On Enodgenous Competitive Business Cycles . Econometrica 53: 994-1045.

[10]Jablanovic, V., (2011). Budget Deficit and Chaotic Economic Growth Models . Aracne editrice S.r.l, Roma.

[11]Jablanovic, V., (2013). Elements of Chaotic Microeconomics. Aracne editrice S.r.l. , Roma .

[12]Jablanovic, V. (2016). A Contribution to the Chaotic Economic Growth Theory. Aracne editrice S.r.l. , Roma .

[13] Li , T. & J. Yorke (1975) .Period Three Implies Chaos. American Mathematical Monthly 8: 985-992, 1975.

[14] Lorenz , E.N. (1963) .Deterministic nonperiodic flow . Journal of Atmospheric Sciences 20: 130-141.

[15] Lorenz , H.W. (1993). Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion. 2nd edition, Springer-Verlag, Heidelberg.

[16] May, R.M. (1976). Mathematical Models with Very Complicated Dynamics. Nature 261: 459-467 .

[17] Medio, A. (1993). Chaotic Dynamics: Theory and Applications to Economics, Cambridge University Press, Cambridge .

[18] Medio, A. & M. Lines (2001) .Nonlinear Dynamics. A primer, Cambridge University Press .

[19] Milanovic B. (2009). Global inequality and the global inequality extraction ratio: The story of the past two centuries . Policy Research Working Paper 5044, World Bank http://econ.worldbank.org

[20] Milanovic, B. (2013). Global Income Inequality by the Numbers: in History and Now. Global Policy 4 (2): 198–208.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SAVREMENI ASPEKTI DIGITALNE EKONOMIJE: UTICAJ FENOMENA BIG DATA

CONTEMPORARY ASPECTS OF DIGITAL ECONOMY: THE INFLUENCE OF THE BIG DATA PHENOMENON

JASNA SOLDIĆ-ALEKSIĆ

Ekonomski fakultet, Beograd, e-mail: jasnasol@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Cilj ovog rada je da ukaže na značaj fenomena velike količine podataka (Big data) i njegov uticaj na savremene tokove u finkcionisanju digitalne ekonomije. U radu su najpre date bitne odrednice pojma Big data, koje su relevantne u današnjoj literaturi. Zatim su diskutovani različiti aspekti poslovne primene velike količine podataka. Ukazano je na bitne poslovne prednosti koje donosi upotreba velike količine podataka, kao što su veća transparentnost poslovanja, poboljšanje performansi poslovnih sistema, novi poslovni modeli, novi proizvodi i usluge, optimizacija poslovnih procesa i lanaca snabdevanja, mogućnost detaljnijih segmentacija baza podataka o kupcima, podrška procesu poslovnog odlučivanja, unapređenje organizacionog menadžmenta, kao i unapređenje istraživanja i razvoja. Takođe, navedene su i osnovne prepreke za širu primenu koncepta i tehnologije big data, a to su: nedostatak dobro obučenih i kvalifikovanih kadrova, problemi sa fragmentiranim podacima, kao i kvalitetom podataka, neadekvatna organizaciona kultura, posebno kultura u oblasti poslovnog odlučivanja, gde se u mnogim slučajevima isključivo koristi intuicija u donošenju poslovnih odluka. Pored ovih internih prepreka, glavni eksterni faktori koji deluju kao ograničavajući faktori u primeni velike količine podataka su: nedovoljno razvijena pravna regulativa, pitanja privatnosti i sigurnosti podataka.*

Ključne reči: *Big data, digitalna ekonomija, struktuirani podaci, nestruktuirani podaci, poslovna vrednost*

Abstract: *The main aim of this paper is to present the phenomenon Big data and its influence on the functioning of digital economy. Firstly, the paper explains the main characteristics of Big data that are relevant in the contemporary literature. Then different aspects of the Big data business usage are discussed and main benefits of the Big data usage are pointed out: transparency, improved business performances, new business models, new products and services, optimization of business processes and chain management, possibilities for detailed customer segmentation, decision making support, improved operation management and research and development. Also, the most prominent obstacles of Big data usage are presented. They are: the shortage of talents with specialization in data analytics - data scientists, fragmented data and poor data quality and the culture of intuitive decision making. Apart from these internal limitations, main external limiting factors are concerning to the issues of legal framework, data privacy and security.*

Keywords: *Big data, digital economy, structured data, unstructured data, business value*

1. UVOD

Digitalna ekonomija ima istoriju dugo skoro dve decenije. Prvi opis digitalne ekonomije može se naći u delu D.Tapscott -a, *The Digital Economy: Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence* (1997). Pored izraza digitalna ekonomija koriste se i izrazi internet ekonomija, web ekonomija i nova ekonomija. Prava eksplozija u razvoju digitalne ekonomije beleži se početkom 2000-tih godina sa sve širom primenom interneta i njegovim uključenjem u poslovne procese. Te godine karakteriše i osnivanje velikog broja kompanija koje svoj poslovni model vezuju za funkcionisanje interneta - *dot.com* kompanije. Ali, relativno mali broj ovih kompanija je ostvario poslovni uspeh, najvećim delom zbog odsustva dobro osmišljenih poslovnih modela. Sledeći period je doneo poboljšanja u smislu unapređenja postojećih i kreiranja novih poslovnih modela, tako da je razvoj digitalne ekonomije ušao u stabilne tokove. Danas, možemo reći da se nalazimo u eri zrele digitalne ekonomije, koju karakteriše značajno učešće podataka u vođenju poslovnih

procesa, kao i u procesu poslovnog odlučivanja. Zahvaljujući tome, nova ekonomija se često u literaturi opisuje i kao ekonomija zasnovana na podacima (*data-driven economy*).

Dinamičan i buran razvoj digitalne ekonomije bio je podstican, a u mnogim slučajevima i vođen tehnološkim inovacijama. Koja tehnološka novina je danas dominantna? Najznačajnija tehnološka novina odnosi se na mogućnosti široke primene ogromne količine podataka (struktuiranih, polu-struktuiranih i nestruktuiranih podataka) u javnom i privatnom sektoru. Stoga se smatra da se digitalna ekonomija nalazi na pragu nove faze razvoja: faze koja je obeležena fenomenom *Big data*. Naime, digitalizacija sama po sebi ne predstavlja posebnu novinu, kao i svakodnevna upotreba interneta i mobilnih tehnologija, već upotreba mnogobrojnih uređaja sa ugrađenim senzorima, RFID tehnologija, kao i razvoj koncepta *Internet of Things* (IoT), odnosno *Internet of Everything* (IoE). Sve navedene tehnologije su doprinele generisanju ogromne količine podataka, te se govori o pravoj „revolucija podataka“ ili „eri *Big data*“. U literaturi se može naći niz primera i statističkih podataka, koji ukazuju na prisutnost fenomena *Big data*. Ovde ćemo navesti nekoliko takvih primera. Prema izveštajima IBM-a posvećenim fenomenu *Big data* [5] svaki dan se kreira exabytes (10^{18}) novih podataka, pri čemu se najveći deo ovih podataka prenosi kroz IP mreže. 90 procenata svih podataka prikupljenih tokom čitave istorije čovečanstva, kreirano je u poslednje dve godine, a stopa rasta količine podataka poslednjih godina iznosi 40%. U tom smislu ilustrativan je primer koji govori da svi podaci o kupcima koji se dobiju za jedan sat funkcionisanja transakcione baze podataka u *Wal-Mart*-u – oko 1 milion transakcija (2,5 petabytes), po obimu su 167 puta veći od ukupne količine podataka koja se čuva u knjigama biblioteke Kongresa u SAD. Takođe, procene su da ukupna količina digitalnog univerzuma raste po stopi od 30% u periodu 2000-2020. godina. Posebno su impresivne stope rasta podataka u mobilnom saobraćaju (*compound annual growth rate – CAGR* od 66%) [13]. Navedeni trendovi ubrzanog generisanja i protoka podataka, imaju izuzetan značaj za sve poslovne oblasti. Predviđa se da će se do 2020. godine prosečni poslovni sistemi suočiti sa 50 puta većom količinom podataka i informacija nego što je to danas, dok će prosečan broj IT osoblja porasti samo 1,5 puta [2].

2. O FENOMENU *BIG DATA*

Danas ne postoji jednistvena definicija fenomena *Big data*. Prema definiciji Evropske komisije *Big data* predstavlja veliku količinu podataka koja se brzo generiše iz mnogo različitih izvora. U akademskoj literaturi preovlađuje objašnjenje koje je dao *Doug Laney* početkom 2000-tih godina, a koje polazi od toga da se pojam *Big data* može objasniti sa čuvenim „*3V*“ (*Volume, Velocity, Variety* – Količina, Brzina, Raznovrsnost). Već smo ukazali da je količina podataka jednostavno eksplodirala u poslednjih 15 godina. 2000-te godine u svetu se čuvalo 800 000 petabytes (PB - 10^{15}), a prema procenama IBM očekuje se da će 2020 godine biti 35 zetabytes (ZB–10^{21}) podataka. Posebno je interesantno da se sve veća količina podataka prenosi preko IP mreža. U tom smislu treba istaći da su glavni pokretači rasta količine podataka koji se prenose preko IP mreža sledeći [13]:

- internet protokol (IP) postaje zajednički jezik za većinu sistema komunikacije;
- mnoge stvari, ljudi, procesi i mesta, koji ranije nisu bili povezani, po prvi put se povezuju (milioni ljudi i stvari će biti povezani u narednim godinama), što postaje stožer koncepta *Internet of Things – IoT;*
- najveći deo podataka koji se čuvao u analognom formatu, prevodi se u digitalni oblik. Procene su da je u toku prošle dekade udeo digitalnog sadržaja u ukupnom sadržaju porastao sa 25% na 98%;
- internet protokol verzija 6 Ipv6, omogućava povezivanje na Internet 10^{38} uređaja.

Jasno je da se poslovni sistemi suočavaju sa sve većom količinom podataka. Ali, nasuprot ovom rastućem trendu količine podataka, prisutan je opadajući trend u obimu podataka koji poslovni sistemi zaista koriste. Prema procenama Svetskog ekonomskog foruma danas se koristi svega 0,5% svih raspoloživih podataka [14].

Pored velike količine podataka, fenomen *Big data* podrazumeva i konstantan tok i priliv podataka od različitih uređaja (RFID čitači, senzori) u realnom vremenu, a za čiju operacionalizaciju se ne mogu koristiti tradicionalni sistemi skladištenja i obrade podataka. Može se zapaziti da se značajan deo podataka prikuplja automatski – pasivno (*machine to machine transactions*), u koje korisnik uglavnom nije aktivno uključen. Uobičajeno je da se u literaturi o fenomenu *Big data* govori o podacima koji su statični (*data-at-rest*) i podacima u kretanju (*data-in-motion, streaming data*). Izraz *Velocity* odnosi se prevashodno na dinamiku podataka, tj. brzinu priliva podataka, kao što je tok podataka koji dolazi od senzora, RFID čitača, ili *web log* podataka - istorija poseta različitih web strana. Svi ovi podaci predstavljaju značajan informatički resurs, zbog čega se razvijaju tehnologije za njihovo skladištenje i analizu. U vezi brzine priliva podataka, postavlja se važno pitanje konzistentnosti i kompletnosti podataka. Drugo važno pitanje odnosi se na upotrebnu

vrednost podataka, tj. koliko dugo će podaci imati vrednost. Treća dimenzija brzine, kao karakteristike fenomena *Big data*, odnosi se na analitiku Big data u realnom vremenu (*Real Time Big Data Analytics – RTBDA*), što je danas jedno od glavnih ograničenja primene i razvoja koncepta *Big data*. Tom pitanju je posvećen značajan deo razvoja tehnologije *Big data*.

Takođe, fenomen *Big data* podrazumeva da podaci potiču iz različitih izvora i imaju različite formate: od struktuiranih podataka (numerički podaci prikazani u tabelarnoj formi, u programima za obradu tabela, u datotekama podataka mnogih softvera za statističku analizu podataka, u tradicionalnim relacionim bazama podataka i slično), preko polu-struktuiranih podataka (log datoteke, e-poruke, XML i HTML dokumenta) do nestruktuiranih podataka, kao što su video-slike, mape, dijagrami, zvučni zapisi, mašinski generisani podaci od različitih senzora sa aktivnih ili pasivnih sistema, GPS signali sa mobilnih uređaja, itd. Posebno je važno istaći da je rast obima nestruktuiranih podataka mnogo brži u odnosu na rast obima struktuiranih podataka. Prema izveštajima konsultantske kompanije *Gartn*er, količina nestruktuiranih podataka utrostručuje se svaka tri meseca, odnosno svakog dana generiše se novih sedam miliona web strana [3].

Pored navedene tri dimenzije (3V), u literaturi se mogu naći još neke odrednice fenomena *Big data*, kao što su: varijabilitet (*Variability*), istinitost, odnosno preciznost (*Veracity*) i kompleksnost (*Complexity*) podataka. Pod varijabilitetom se podrazumeva činjenica da transfer podataka može biti veoma neujednačen u vremenskim intervalima: na primer, pojava sezonskih, ili dnevnih varijacija u obimu podataka na društvenim mrežama. Takođe, u okviru varijabiliteta podataka proverava se postojanje ekstremnih vrednosti ili „*outlier*"-a u statističkom smislu. Najzad, imajući u vidu činjenicu da danas podaci potiču iz različitih izvora, postoji problem da se ti podaci povežu, upare, transformišu, što stvara kompleksnost u upravljanju podacima i sistemima u kojima se oni čuvaju.

Za poslovne sisteme je od izuzetnog značaja da se osposobe da koriste raspoložive podatke u procesu izdvajanja znanja, kao i u procesu poslovnog odlučivanja. U tom smislu važno je poznavanje tehnologije neophodne za operativno korišćenje velike količine podataka. Naime, *Big data* čine velike količine podataka koje se ne mogu obraditi klasičnim sistemima za obradu struktuiranih podataka, kao što su relacione baze podataka i skladišta podataka. U tu svrhu koriste se posebne tehnologije koje se zasnivaju na umreženim računarima i paralelnom procesiranju, kao što su Hadoop za struktuirane i polustruktuirane podatke ili NoSQL, NewSQL, MongoDB, TerraStore softver za čuvanje velike količine nestruktuiranih podataka. Nove tehnologije zahtevaju i nove postupke analize podataka, čime se otvara prostor za razvoj postojećih, kao i kreiranje novih tehnika poslovne analitike. Posebno velika količina podataka doprinosi daljem razvoju oblasti prediktivne analitike, gde se koriste tehnologije poslovne inteligencije (*Business Intelligence technology*). Tehnike prediktivne analitike mogu da doprinesu značajnim kompetitivnim prednostima organizacija i postaju važno sredstvo za postizanje strateških ciljeva poslovnih sistema. Procenjuje se da se ova oblast, takođe ubrzano razvija, po stopi od 8% do 10% godišnje [12].

3. POSLOVNA PRIMENA VELIKE KOLIČINE PODATAKA

Nije preterano reći da danas skoro nema oblasti u kojoj se ne zapaža značajno povećanje količine podataka. Kao što smo u uvodnom delu naglasili predviđa se da će se do 2020. godine prosečni poslovni sistemi suočiti sa 50 puta više podataka i informacija nego što je to danas, dok će prosečan broj IT osoblja porasti samo 1,5 puta [2]. Sama ova činjenica dovoljno govori o značaju *Big data* tehnologija i analitike. Za kompanije je ključno pitanje da li će ova velika količina podataka biti njihova slaba tačka ili će biti komparativna prednost. Zadržimo se na sledećem pitanju: koje su to glavne prednosti za poslovne sisteme koje potiču od *Big data*? Manyika, et al. [7] izdvajaju pet glavnih prednosti:

- transparentnost,
- poboljšanje performansi sistema,
- mogućnosti detaljnijih segmentacija baza podataka o klijentima,
- podrška procesu poslovnog odlučivanja i
- novi poslovni modeli, proizvodi i usluge.

Transparentnost podataka je izuzetno važna, jer se suprostavlja ustaljenoj praksi izolovanih podataka po poslovnim funkcijama (*data silos*). Takođe, potencijalna poboljšanja odnose se na: generisanje novih proizvoda i usluga, optimizaciju poslovnih procesa i lanaca snabdevanja, ciljani marketing, unapređenje organizacionog menadžmenta, kao i na unapređenje istraživanja i razvoja [10].

Data-driven ekonomija zasnovana na korišćenju velike količine podataka može da generiše značajnu dodatu ekonomsku vrednost. Prema procenama privredne komore SAD, dobro osmišljeno i organizovano korišćenje velike količine podataka može da uveća ukupni svetski dohodak za 3 biliona dolara godišnje i to posmatrano samo u sedam industrijskih oblasti: transport, maloprodaja, elektrika, industrija nafte i gasa, zdravsto, obrazovanje i finansije. Jedna polovina od ove vrednosti predstavlja dobit za potrošače, u vidu

ušteda u saobraćaju, trgovini i obrazovanju, a druga polovina odnosi se na poboljšanja u funkcionisanju kompanija, prevashodno na povećanje njihove kompetitivne moći. Danas mnoge kompanije koje već koriste veliku količinu podataka u svom poslovanju ostvaruju ove prednosti. Na primer, *Wal-mart* je unapredio svoj lanac snabdevanja koristeći veliku količinu podataka, i po tom osnovu u poslednje četiri godine uvećao dobit za 16% [6].

I pored uočenog trenda rapidnog rasta količine podataka, koji dobija epitet „revolucije podataka", postoje argumenti, koji dolaze iz oblasti informatičke podrške procesu poslovnog odlučivanja, a govore u prilog činjenice da se fenomen *Big data* posmatra pre u evolucionom, nego u smislu revolucije. Naime, i pre pojavljivanja ovog fenomena, beleži se dugotrajna praksa korišćenja podataka i različitih informacionih tehnologija, kao i sve složenijih analitičkih tehnika, u procesu poslovnog odlučivanja. Možemo slobodno reći da ova praksa, tj. evolucija datira od 60-tih i 70-tih godina, kada se pojavljuju prvi analitički postupci za podršku odlučivanju na osnovu raspoloživih podataka, kao što su primena različitih statističkih tehnika, tehnika nauke o upravljanju, tehnika operacionih istraživanja i dr. Takođe, od informacionih tehnologija korišćeni su različiti generatori izveštaja iz baza podataka, zatim tehnologije i sistemi za podršku odlučivanju, ekspertni sistemi i drugi inteligentni sistemi za podršku odlučivanju, napredne tehnike pretraživanja podataka (*data mining*), kao i tehnologije poslovne inteligencije (*Business intelligence*). Sve navedene tehnologije zasnivale su se na ideji prikupljanja, skladištenja i analize podataka za potrebe poslovnog odlučivanja [15].

Kada je reč o uticaju *Big data* na poslovne performanse, McAfee i Erik Brynjolfsson, u svom radu *Big Data: The Management Revolution* navode da se na osnovu istraživanja koje su sproveli u SAD, može zaključiti da postoji tesna veza između poslovnog korišćenja velike količine podataka i performansi preduzeća. Njihov zaključak je sledeći: "ukoliko kompanije više sebe vide kao kompanije čije poslovanje počiva na korišćenju velike količine podataka, utoliko postižu bolje performanse - finansijske i operativne." Prema ovoj studiji kompanije koje se nalaze u vrhu u svojoj industriji, a intenzivno koriste podatke u procesu poslovnog odlučivanja, u proseku su 5%- 6% profitabilnije u odnosu na konkurente [9].

Značajna promena koju donosi generisanje sve veće količine podataka u poslovnim sistemima jeste stvaranje uslova za novi vid konkrurencije – konkurencije na bazi kompetitivne analitike. Reč je o konkurenciji koja se zasniva na ekstenzivnom korišćenju podataka, analitike i poslovnom odlučivanju zasnovanom na objektivnim činjenicama (*fact-based decision making*). Jedan od prvih autora koji je ukazao na važnost ovog vida konkurencije je T. Davenport u svom poznatom radu *Competing on Analytics* [2]. U navedenom radu prikazani su rezultati sprovedenog istraživanja koje ukazuje na bitne preduslove i korake koje poslovni sistemi mogu da preduzmu kao bi koristili ovaj novi vid konkurencije. Takođe, ukazuje se da se prednosti poslovne analitike i konkurentnosti mogu primeniti u svim poslovnim oblastima. U praksi ne postoji jasno izražena podela na organizacije koje koriste poslovnu analitiku i one koje to ne čine. Kako je u ovom radu prikazano može se izdvojiti nekoliko faza kroz koje poslovne organizacije prolaze (ili se u njima zadržavaju) na putu korišćenja poslovne analitike kao konkurentne prednosti. U prvoj fazi nalaze se organizacije koje se suočavaju sa značajnim organizacionim i tehničkim preprekama u korišćenju analitike (*major barriers*), u drugoj fazi se nalaze firme koje koriste analitiku u organičenom obimu, samo u pojedinim poslovnim funkcijama (*local activities*), u trećoj grupi su organizacije koje imaju jasnu viziju, ali teškoće u njenoj implementaciji (*vision not yet realized*), dok su u četvrtoj fazi organizacije sa značajnom primenom analitike u poslovanju (*almost there*), a u poslednjoj fazi su organizacije koje koriste analitiku kao neophodan alat u poslovanju, odnosno kod kojih je analitika najbitnija dimenzija njihove poslovne strategije (*analytical competitors*).

Nesumnjivo postoje značajne prednosti koje može da pruži korišćenje velike količine podataka. Ali, takođe, postoji jaz između količine podataka i vrednosti podataka. Podsetimo se procene da se danas koristi svega 0,5% svih raspoloživih podataka [14]. Naime, podaci sami po sebi nisu interesantni. Takođe, podaci imaju opadajuću vrednost tokom vremena. Poznata je kriva vrednosti informacija kroz vreme (*Value-time curve*) [4], koja u doba velike količine podataka postaje sve strmija u smislu opadanja vrednosti, jer količina, brzina i raznovrsnost podataka utiču da organizacije moraju da se bore sa više izazova u sve kompleksnijem okruženju. Takođe, postoji tvrđenje da velika količina podataka ima relativno nisku „gustinu vrednosti" (*value density*), koja upravo proizilazi iz osnovnih karakteristika fenomena *Big data*. Stoga je i ključno pitanje kako izvući znanje i poslovnu vrednost iz ove velike i kompleksne količine podataka. U tom smislu važno je sagledati moguće procese transformacije podataka u okviru hijerarhije znanja [8].

U prethodnom tekstu naveli smo osnovne karakteristike fenomena *Big data*, kao i potencijalne prednosti koje ovaj fenomen može da unese u funkcionisanje poslovnih sistema. Ali, postoje značajne prepreke u primeni velike količine podataka. Osnovne prepreke za širu primenu koncepta i tehnologije *Big data* su: nedostatak dobro obučenih i kvalifikovanih stručnjaka; problemi sa fragmentiranima podacima, kao i sa

kvalitetom podataka; neadekvatna organizaciona kultura, posebno kultura u oblasti poslovnog odlučivanja, gde se u mnogim slučajevima uglavnom koristi intuicija u donošenju poslovnih odluka. Pored ovih internih prepreka, glavni eksterni faktori koji deluju kao ograničavajući faktori su: javna regulativa, kao i pitanja privatnosti i sigurnosti podataka.

4. ZAKLJUČAK

Fenomen *Big data* predstavlja značajnu novinu u funkcionisanju i razvoju digitalne ekonomije. Mada postoje različite definicije ovog fenomena, većina autora se slaže da se radi o fenomenu koji izražava potrebu za novim načinom upotrebe i upravljanja velikom količinom podataka u poslovnim sistemima i u javnom sektoru. Velika količina podataka otvara nove mogućnosti, ali i izazove za poslovne sisteme i vladine organizacije. Pored struktuiranih podataka, radi se o ogromnoj količini polu-struktuiranih i nestruktuiranih podataka. Za njihovo čuvanje i procesiranje koriste se nove tehnologije, koje su poznate kao *Big data* tehnologije i tehnologije *Big data* analitike.

Velika količina podataka pruža potencijal za značajne promene u poslovanju, kako u smislu načina funkcionisanja poslovnih procesa i modela, tako i u generisanju novih proizvoda i usluga, u mogućnosti za većom transparentnošću poslovanja, u unapređenju marketinških aktivnosti, unapređenju procesa poslovnog odlučivanja kroz novu analitiku, tako i u unapređenju funkcionisanja institucija javnog sektora. Najvažnije interne prepreke za uspešnu primenu koncepta *Big data*, jesu organizaciona kultura, nedostatak kadrova, kvalitet podataka, a od eksternih pitanja dominatno je pitanje sigurnosti i zaštite podataka, kao i ne/postojanje odgovarajućeg legalnog okvira primene ovog koncepta.

LITERATURA

[1] Davenport, T. (2006), Competing on Analytics, Harvard Business Review, 2006.

[2] EMC2, (2013), Digital Universe, Available at: http://www.emc.com/ leadership/programs/digital-universe.htm.

[3] Gartnet Inc., (2017), Data and Analytics: Big data, Avaiable at: http://www.gartner.com/technology/topics/data-analytics.jsp

[4] Hackathorne, R., (2004), The BI Watch: Real-Time to Real-Value. DM Review, January 2004, Available at http://www.bolder.com/pubs/DMR200401-Real-Time%20to%20Real-Value.pdf

[5] IBM, (2013), Big Data, Available at: http://www.ibm.com/bigdata/us/en/

[6] Kennedy, J., (2014), Data-driven economy, U.S, Chamber of Commerce Foundation, Available at: https://www.uschamberfoundation.org/data-driven-economy

[7] Manyika, J., Chui, M., Groves, P., Farrell, D., Van Kuiken, S., & Almasi Doshi, E. (2013), Open Data: Unlocking Innovation and Performance with Liquid Information, McKinsey & Company, McKinsey Global Institute, Oct. 2013.

[8] Michael K., & Miller K. W., (2013), Big Data: New Opportunities and New Challenges, IEEE Computer Society, 0018-9162/13, pp.22-24,

[9] McAfee, A., & E. Brynjolfsson, (2012), Big Data: The Management Revolution, Harvard Business Review, October. Available at: http://hbr.org/2012/10/big-data-the-management-revolution.

[10] Organization for Economic Cooperation and Development, (2013), Exploring Data-Driven Innovation as a Source of Growth, OECD Digital Economy Papers, No. 222, June 2013.

[11] Schoenherr, T, &Speier-Pero, C 2015, Data Science, Predictive Analytics, and Big Data in Supply Chain Management: Current State and Future Potential, *Journal Of Business Logistics,* 36, 1, pp. 120-132,

[12] Siegel, E. (2015), Seven Reasons You Need Predictive Analytics Today, Prediction Impact, Inc., Predictive Analytics for Business and Marketing,

[13] World Economic Forum and INSEAD, (2014), The Global Information Technology Report 2014, Rewards and Risks of Big Data, Bilbao-Osorio,B., Dutta, S., Lanvin, B. (eds)

[14] World Economic Forum, (2015) The Global Information Technology Report 2015, ICTs for Inclusive Growth, Dutta, S., Geiger, G., Lanvin, B. , (eds)

[15] Zikopoulos, P.C., Eaton, C., de Roos, D., Deutch, T., & Lapis, G. (2012), Understanding Big Data, Analytics for Enterprice Class Hadoop and Streaming Data, McGraw Hill, New York, 2012.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PROJEKTOVANJE NOVE KORPORATIVNE KULTURE U CILJU DOSTIZANJA LIDERSKE POZICIJE ORGANIZACIJE U SAVREMENOM POSLOVNOM OKRUŽENJU

NEW CORPORATE CULTURE DESIGN FOR ACHIEVING THE LEADING POSITION OF ORGANIZATION IN CONTEMPORARY BUSINESS ENVIRONMENT

TANJA MILIĆ[1], VELJKO JEREMIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, milic.tanja@fon.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, jeremic.veljko@fon.rs

Rezime: *Savremeno poslovno okruženje obeležava nova ekonomija, koja je u značajnoj meri dinamičnija u odnosu na staru i u potpunosti okrenuta ispunjenju zahteva kupaca na sve zahtevnijem tržištu, koje karakteriše izrazito jaka konkurencija. U takvom promenjenom okruženju, organizacije moraju drastično da promene način svog poslovanja u cilju svog opstanka, rasta i razvoja i dostizanja liderske pozicije. Odgovarajuća korporativna kultura je danas od presudnog značaja za ostvarivanje liderske pozicije organizacije. Čak se može reći da ona čini razliku između uspešnih i neuspešnih organizacija i javlja se kao jedan od glavnih izvora održivih kompetitivnih prednosti organizacija. U ovome radu je u prvom delu prikazan pregled karakteristika poželjne korporativne kulture, kao i način njenog projektovanja. U drugom delu rada je dat pregled rezultata istraživanja menadžera poslovnih organizacija u Republici Srbiji u pogledu ispitivanja uticaja pojedinih elemenata nove korporativne kulture na ostvarenje ekonomsko-finansijskih performansi organizacija. Rezultati istraživanja pokazuju da postoji veza između nove korporativne kulture i ostvarenih ekonomsko-finansijskih performansi organizacije u savremenom poslovnom okruženju.*

Ključne reči: *nova ekonomija, korporativna kultura, liderska pozicija, ekonomsko-finansijske performanse.*

Abstract: *Contemporary business environment is marked by the new economy, which is significantly more dynamic, than the old one, and entirely oriented to meeting customer demands in the increasingly demanding market, which is characterized by very strong competition. In such altered environment, organizations need to drastically change the way of how they do business in order to secure their survival, growth and development, and to achieve leading position. Appropriate organizational culture is today of crucial importance for achieving the leading position of the organization. One can even say, that it makes the difference between successful and unsuccessful organizations, and appears as one of major sources of sustainable competitive advantage of organizations. This paper, in the first part gives an overview of the characteristics of a desirable corporate culture, and the way of its design. The second part provides an overview of research results of business organization managers operating in the Republic of Serbia in respect of the effect of the new corporate culture elements on the achievement of organizational economic and financial performance. Results show, that there is the connection between the new corporate culture, and achieved organizational economic and financial performance in contemporary business environment.*

Keywords: *new economy, corporate culture, leading position, economic and financial performance.*

1. UVOD

Savremeno poslovno okruženje obeležava nova ekonomija, koja je u značajnoj meri dinamičnija u odnosu na staru i u potpunosti okrenuta ispunjenju zahteva kupaca na sve zahtevnijem tržištu, koje karakteriše izrazito jaka konkurencija. U takvom promenjenom okruženju, odgovarajuća korporativna kultura je od presudnog značaja za ostvarivanje liderske pozicije organizacije. Čak se može reći da ona čini razliku između uspešnih i neuspešnih organizacija i javlja se kao jedan od glavnih izvora održivih kompetitivnih prednosti organizacija. Korporativna kultura predstavlja norme, pretpostavke, zajedničke vrednosti i artifakte u okviru jedne organizacije, koji oblikuju ponašanje pojedinaca u njoj (Milićević, 2014). U tom smislu, ona će odrediti da li će zaposleni podržati realizaciju formulisane strategije i zbog toga je snaga korporativne kulture jedna od najfundamentalnijih kompetitivnih prednosti organizacije. U nastavku je prikazana nova

korporativna kultura i način njenog projektovanja, zatim slede rezultati istraživanja menadžera poslovnih organizacija u Republici Srbiji u pogledu ispitivanja zastupljenosti i uticaja pojedinih elemenata nove korporativne kulture na ostvarenje njihovih ekonomsko-finansijskih performansi. Zaključna razmatranja su data na kraju rada.

2. PROJEKTOVANJE NOVE KORPORATIVNE KULTURE I LIDERSKA POZICIJA ORGANIZACIJE

Korporativna kultura, koja će obezbediti organizaciji danas liderstvo je inovativna, inspirativna, otvorena za promene, adaptabilna i entuzijastična. Ako organizacije uspeju da izgrade i sačuvaju inovativno-adaptivnu kulturu, kulturu posvećenosti, kulturu u kojoj zaposleni posvećeno slede misiju, viziju i stratešku nameru organizacije, biće bolje pozicionirane za uspeh. Ovakva je kultura u kompaniji *General Electric*. Kao što Jack Welch kaže, «Ono što *GE* izdvaja iz drugih jeste cultura, koja koristi raznolikost kao neograničeni izvor mogućnosti za učenje, skladište ideja, čiji su širina i bogatstvo nedostižni u poslovnom svetu. U srcu ove kulture je razumevanje da je sposobnost organizacije da uči i da prevede to učenje u akciju brzo, krajnja kompetitivna poslovna prednost.» Od stepena adaptivnosti korporativne kulture u velikoj meri zavisiće pozicija pojedinih organizacija, kako na nacionalnom, tako i na internacionalnom tržištu. Zbog toga je zadatak menadžera da razvije takav model korporativne kulture koji će omogućiti da svi resursi u organizaciji budu iskorišćeni na najbolji mogući način (Vešović, Bojović, 2002).

Razlike između adaptivne i neadaptivne korporativne kulture su prikazane na slici 1. (Kottler, Heskett, 1992).

Može se videti da adaptivna korporativna kultura omogućava i obezbeđuje praćenje potreba potrošača i trenutno prilagođavanje organizacije nastalim promenama, što je potreban uslov za uspeh u savremenom poslovnom okruženju. Neadaptivna korporativna kultura je više okrenuta samoj sebi – menadžeri više gledaju poslovni proces i birokratski utvrđene procedure, nego potrošače i promene u okruženju. Samim tim oni ne menjaju svoje poslovne strategije dovoljno brzo da bi se prilagodili promenama u okruženju, tako da u najvećem broju slučajeva bivaju prestignuti od strane inovativnijih konkurenata i ostvaruju lošije rezultate. U zavisnosti od stepena i brzine promena, opremljenosti i karakteristika konkurenata, oni mogu da budu potpuno istisnuti sa tržišta zbog sporog reagovanja i sa velikim gubicima.

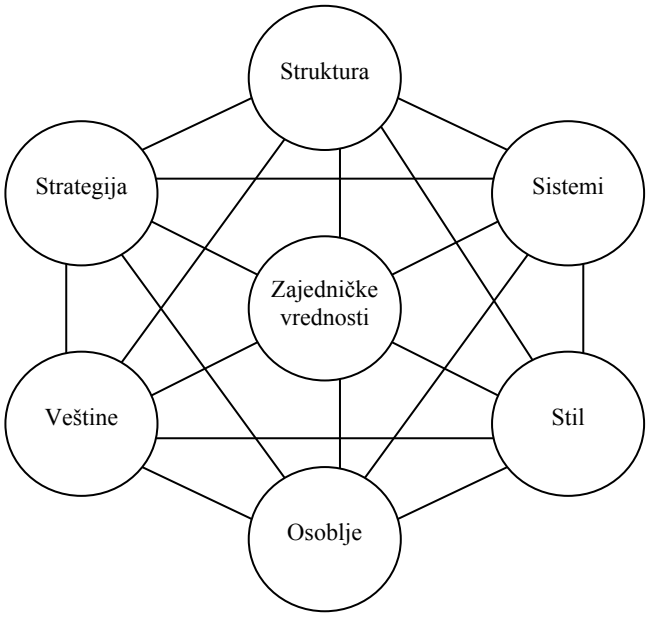
Osnovne vrednosti	ADAPTIVNA	NEADAPTIVNA
Osnovne vrednosti	Većina menadžera duboko brine o potrošačima, akcionarima i zaposlenima. Oni takođe jako vrednuju ljude i procese koji mogu da kreiraju korisnu promenu.	Većina menadžera uglavnom brine o sebi, njihovoj direktno određenoj grupi ili njihovom proizvodu. Oni mnogo više vrednuju menadžerski proces koji smanjuje rizik i disciplinu od reda nego liderske inicijative.
Uobičajeno ponašanje	Menadžeri obraćaju posebnu pažnju svim svojim interesnim grupama, naročito potrošačima i iniciraju promenu kada je neophodno da služe njihovim legitimnim interesima, čak iako to podrazumeva preuzimanje nekog rizika.	Menadžeri teže da se ponašaju nešto usamljenički, politički i birokratski. Kao rezultat, oni ne menjaju svoje strategije brzo da bi se prilagodili ili preuzeli prednost od promena u njihovim poslovnim okruženjima.

Slika 1: Korporativne kulture – adaptivne vs. neadaptivne (Kottler, Heskett, 1992)

Izgradnja i uspostavljanje adaptivne i inovativne kulture zahteva širok i istrajan napor. Iako menjanje korporativne kulture nikada nije lako, sa pravim liderstvom, kulture mogu da se preoblikuju i mogu da se dogode izvanredni rezultati. Uspostavljanje stava snažnog rasta je ono što omogućava organizaciji i njenim ljudima da dostignu svoje ciljeve. On održava protok svežih ideja i obnavlja kompaniju (Jennings, Haughton, 2000).

Inovativna, adaptabilna kultura se može izgraditi delovanjem na sistem zajedničkih vrednosti, koje treba da u sebi sadrže elemente slobode, kreativnosti, inspirativnosti, inovacije i konstantnog pronalaženja nečeg

novog i življenja sa promenama – njihovog prihvatanja i njihovog nametanja. One utiču na strategiju, osoblje, strukturu, sisteme, veštine, stil i kao takve predstavljaju centar od koga zavise budući rezultati organizacije - model McKinsey (slika 2.) (Peters, Waterman, 1982).



Slika 2: McKinsey model sedam S – okvir za analizu i poboljšanje organizacija (Peters, Waterman, 1982)

Zajedničke korporativne vrednosti su ono u šta zaposleni veruju i one povezuju organizaciju u celinu zajedno. Zajedničke vrednosti su takođe i identitet po kome je organizacija poznata u svojim poslovnim oblastima. Ove vrednosti moraju da se iznose i kao korporativni ciljevi i kao individualne vrednosti. Svaka organizacija i svaki lider će imati različiti set vrednosti, koje odgovaraju njihovoj poslovnoj situaciji. Osiguravanje razumevanja vrednosti i vizije organizacije od strane zaposlenih zahteva da organizacija ima jasno definisane vrednosti postavljene i što je još važnije, zajednički postavljene vrednosti su osnova uspešne korporativne kulture i ostvarenja željenog uspeha i rasta (Blanšar, O'Konor, 2003). Ukoliko se do osnovnih vrednosti kompanije ne dođe zajednički, već se one samo nameću od strane menadžera, tada može doći i do njihovog odbijanja i nesleđenja, što, naravno, daje negativne, ili, barem, lošije rezultate. Pri tome je jako važno da se pri odabiru vrednosti kompanije stvori mogućnost zaposlenima i menadžerima nižih nivoa da slobodno izraze svoja mišljenja o vrednostima, koje bi trebalo da budu osnova kompanije, bez mešanja predsednika kompanije, odnosno, generalnog direktora.

Postupak utvrđivanja vrednosti bi trebalo da teče na sledeći način: generalni direktor postavi svoj set vrednosti, top menadžment napravi svoju listu vrednosti bez generalnog direktora, kako bi sastavili listu slobodno izražavajući ono što misle. Generalni direktor i upravljački tim – top menadžment zatim upoređuju svoja viđenja. Ciljne grupe zaposlenih obezbeđuju svoje viđenje vrednosti. Konsultuju se potrošači i ostale značajne grupe. Sintetizuju se sva viđenja i prezentuje predložena misija i lista vrednosti upravnom odboru/vlasnicima, u cilju dobijanja konačnog odobrenja. Ovo je efektan način postavljanja zajedničkih korporativnih vrednosti koga će neminovno slediti svaki član te organizacije, jednostavno iz razloga, što mu je bila data prilika da učestvuje u njihovom donošenju i stvaranju, usled čega će se osećati kao da su te vrednosti deo njega i biće mu prirodno da ih i sledi. Pri tome, veoma je bitno da svaki zaposleni bude i upoznat sa konačnim vrednostima svoje organizacije. One moraju da budu istaknute na vidnim mestima u celoj organizaciji, kako bi bile u dometu svih zaposlenih, koji bi trebalo da ih znaju i da ih se pridržavaju u svom ponašanju i svojim postupcima i u donošenju odluka. Jack Welch iz General Electrica je utvrđene korporativne vrednosti distribuirao svim svojim zaposlenima na svim nivoima kompanije i dao obavezu njihovog nošenja i sleđenja. «Postalo je pitanje ponosa ne samo nošenje ovih kartica, nego i pridržavanja ovih vrednosti. One znače sve i mi živimo po njima. Svako ko nema ove vrednosti biva uklonjen iz organizacije čak i ako ostvaruje sjajne rezultate.» Trebalo bi utvrditi da li je zaposlenima zaista stalo do vrednosti kompanije. Ukoliko ih ne mogu povezati sa svojim životom na radnom mestu, one postaju beznačajne. Zaposleni bi trebalo da odgovore na pitanja, kao što su: 1-da li vide misiju i vrednosti kao vodilje koje će im pomoći da se ponose kompanijom, 2-da li misija i vrednosti zaista obezbeđuju osnovu za

svakodnevnu komunikaciju i donošenje odluka u celoj organizaciji, 3-da li misija i vrednosti obezbeđuju nova pravila podele resursa i rešavanje poslovnih problema i problema zaposlenih.

Savremena korporativna kultura, dakle, mora biti zasnovana na vrednostima i one su u prvom planu u celokupnom organizacionom sistemu upravljanja. Pravi uspeh ne dolazi kao rezultat proklamovanja vrednosti organizacije, već kao rezultat njihove stalne primene u svakodnevnim aktivnostima.

3. ISTRAŽIVANJE MENADŽERA POSLOVNIH ORGANIZACIJA U REPUBLICI SRBIJI

3.1. Svrha istraživanja i istraživačka pitanja

Svrha istraživanja menadžera poslovnih organizacija jeste ispitivanje percepcija i stavova menadžera poslovnih organizacija u odnosu na pojedine elemente korporativne kulture i korišćenje ispitanih percepcija i stavova menadžera za evaluaciju stepena uticaja pojedinih elemenata korporativne kulture na uspešnost poslovanja organizacija u Republici Srbiji.

Da bi se ispunila svrha istraživanja, u tom smislu, u svojoj osnovi, istraživanje je imalo definisan sledeći predmet istraživanja: identifikovanje i merenje stepena uticaja pojedinih elemenata korporativne kulture na uspešnost poslovanja organizacija u Republici Srbiji.

Kao cilj istraživanja definisano je utvrđivanje postojanja statistički značajnih razlika između ostvarenih poslovnih performansi organizacija u Republici Srbiji i njihove korporativne kulture.

Istraživanje je trebalo da dovede do odgovora na sledeće istraživačko pitanje: da li postoji i kakva, ako postoji, statistički značajna razlika, veza, između poslovnih performansi organizacija u Republici Srbiji i njihove korporativne kulture.

3.2. Učesnici u istraživanju

Učesnici u istraživanju su bili menadžeri poslovnih organizacija koje posluju na teritoriji Republike Srbije. Istraživanje je sprovedeno na uzorku od 109 ispitanika. Ispitivanje menadžera poslovnih organizacija je sprovedeno primenom tehnike kvantitativnog istraživanja putem Interneta (*Computer Assisted Web Interview – CAWI*) uz prethodno dobijenu saglasnost od svakog ispitanika za učešće u istraživanju. Kao uzorački okvir korišćene su javno dostupne baze poslovnih organizacija, javnih društava i medija u Republici Srbiji.

Na osnovu metodologije koja je uspostavljena prilikom sprovođenja ovog istraživanja obuhvaćene su sledeće kategorije ispitanika u okviru Republike Srbije (Tabela 1):

Tabela 1: Učesnici u istraživanju

Ispitanik	**Procenat**
Pol	
Muško	46,79
Žensko	53,21
Starost	
Ispod 25	1,83
26 - 35	23,85
36 – 45	43,12
46 – 55	22,02
56 – 65	7,34
Iznad 65	1,83
Obrazovanje	
Srednja	4,59
Viša	20,18
Visoka	56,88
Master	12,84
Magistar	3,67
Doktor nauka	1,83
Iskustvo na menadžerskoj poziciji	
Manje od 1 godine	7,34
1 – 4 godine	22,94
5 – 9 godina	34,86

10 – 19 godina	22,94
20 – 29 godina	8,26
30 i više godina	3,67
Nivo menadžmenta	
Viši	45,87
Srednji	37,61
Niži	16,51
Organizacija	**Procenat**
Ukupan broj stalno zaposlenih u organizaciji	
Manji od 100	50,93
100 – 499	34,26
500 – 999	2,78
1000 – 4999	10,19
10000 i više	1,85

3.3. Instrument istraživanja

Kao istraživački instrument za sprovođenje metoda prikupljanja podataka iz primarnih izvora korišćen je upitnik, formiran na osnovu pregleda stručne i naučne literature prema preporukama D. Mihailović (2012), M. Saunders et. al. (2009), E. Babbie i J. Mouton (2007), W. Peltier et al. (2007), C. Welman et. al. (2005), J. Boyce (2003) i A. Dillman (2000) i usklađen sa posebnim potrebama teme istraživanja.

Nakon demografskih karakteristika ispitanika i podataka o organizaciji, upitnik je sadržao pitanja koja su se odnosila na organizacionu kulturu i ekonomsko-finansijska merila. Rezultati Cronbach's alfa testa upitnika kao mere njegove pouzdanosti ukazuju na visoku pouzdanost dobijenih rezultata istraživanja ($\alpha > 0,8$).

3.4. Rezultati istraživanja

Stavke finalnog upitnika su bile analizirane pomoću statističkog alata SPSS v20.0. Analiza podataka u ovoj studiji se sastojala iz deskriptivne statistike. Neparametarski test Mann Whitney U Test je korišćen za testiranje značajnosti razlika. U studiji, rezultati sa $p<0,05$ su proglašeni značajnim.

Rezultati evaluacije uticaja organizacione kulture na poslovne performanse organizacije su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2: Uticaj organizacione kulture na poslovne performanse

Var.	Ukupan učinak organizacije, uspeh		
	Mean Rank		p
	Neuspešne	Uspešne	
Većina menadžera u Vašoj organizaciji duboko brine o potrošačima, akcionarima i zaposlenima.	39,31	57,21	,001
Većina menadžera u Vašoj organizaciji jako vrednuje ljude i procese koji mogu da kreiraju korisnu promenu.	40,95	56,17	,006
Menadžeri u organizaciji obraćaju posebnu pažnju svim svojim interesnim grupama, naročito potrošačima i iniciraju promenu kada je neophodno da služe njihovim legitimnim interesima, čak iako to podrazumeva preuzimanje nekog rizika.	42,14	52,90	,047
Većina menadžera u Vašoj organizaciji menja svoje strategije brzo da bi se prilagodili ili preuzeli prednost od promena u njihovim poslovnim okruženjima.	39,98	54,26	,009
Ova organizacija prati uniformne standarde ponašanja u celom svetu.	40,12	55,89	,004
U kojoj meri se u organizaciji u kojoj radite primenjuju svetski standardi etičkog poslovanja?	41,83	53,01	,043
Inovativnost	41,16	52,58	,034
Finansijski uspeh	37,68	56,55	,001
Liderstvo	39,70	53,03	,013
Kreativnost	40,67	53,14	,022
Smelost	40,56	53,27	,018

Razumevanje	37,46	56,80	,000
Ljubaznost	39,08	54,95	,003
Radost	41,38	52,34	,042
Posvećenost	41,21	52,52	,037
Sigurnost	39,49	54,49	,006
Prijateljstvo	41,24	52,49	,035
Jednostavnost	38,03	56,15	,001
Optimizam	39,27	54,74	,005
Razočaranje	52,13	40,08	,027
Usamljen	52,18	40,02	,025
Nesrećni	51,85	40,41	,036
Inferiornost	51,96	40,28	,031
Snažna organizaciona kultura	41,15	55,94	,008
Vrednosti organizacije	42,97	53,83	,049

Rezultati pokazuju da uspešnije organizacije poseduju adaptivnu organizacionu kulturu u kojoj vladaju pozitivne emocije, vrednosti i vrline ($p<.05$).

4. ZAKLJUČAK

U ovome radu je u prvom delu prikazan pregled karakteristika poželjne korporativne kulture, kao i način njenog projektovanja. U drugom delu rada je dat pregled rezultata istraživanja menadžera poslovnih organizacija u Republici Srbiji u pogledu ispitivanja zastupljenosti i uticaja pojedinih elemenata nove korporativne kulture na ostvarenje njihovih ekonomsko-finansijskih performansi. Rezultati istraživanja pokazuju da postoji veza između nove korporativne kulture i ostvarenih ekonomsko-finansijskih performansi organizacija u savremenom poslovnom okruženju u Republici Srbiji. Testovi značajnosti su pokazali da su uspešne poslovne organizacije u većoj meri etične, imaju snažnu adaptivnu organizacionu kulturu, da su brze i fleksibilne u prilagođavanju promenama, da u njima vladaju pozitivne emocije, vrednosti i vrline.

Savremena korporativna kultura, dakle, mora biti zasnovana na vrednostima i one su u prvom planu u celokupnom organizacionom sistemu upravljanja. Pravi uspeh ne dolazi kao rezultat proklamovanja vrednosti organizacije, već kao rezultat njihove stalne primene u svakodnevnim aktivnostima. Da bi je podržali, zaposleni moraju da veruju u vrednosti na kojima je korporativna kultura zasnovana i zbog toga je snaga organizacione kulture jedna od najfundamentalnijih kompetitivnih prednosti organizacije.

LITERATURA

[1] Babbie E., Mouton, J. (2007). The Practice of Social Research. Cape Town: Oxford University Press.

[2] Blanšar K., O'Konor M. (2003). Upravljanje putem vrednosti. Novi Sad: Prometej.

[3] Boyce, J. (2003). Market Research in Practice. Boston: McGraw Hill.

[4] Dillman D.A. (2000). Mail and International Surveys: The Tailored Design Method. New York: John Wiley & Sons.

[5] Jennings J., Haughton L. (2002). It's Not the Big that Eat the Small... It's the Fast that Eat the Slow. New York: HarperCollins.

[6] Kottler J.P., Heskett J.L. (2011). Corporate Culture and Performance. New York: The Free Press.

[7] Mihailović D. (2012). Metodologija naučnih istraživanja. Beograd: FON.

[8] Milićević V. (2014). Strategijsko poslovno planiranje: menadžment pristup. Beograd: FON.

[9] Peltier J. W., Schibrowsky J. A., Drago W. (2007). The Interdependence of the Factors Influencing the Perceived Quality of the Online Learning Experience: A Causal Model. Journal of Marketing Education, 29 (2), pp. 140-153.

[10] Peters T., Waterman B. (2006). In Search of Excellence. New York: Harper Business.

[11] Saunders M., Lewis P., Thornhill A. (2009). Research Methods for Business Students. Edinburgh: Prentice Hall.

[12] Vešović V., Bojović N. (2002). Organizacija saobraćajnih preduzeća. Beograd: Saobraćajni fakultet.

[13] Welman, C., Kruger, F., Mitchell, B. (2005). Research Methodology. Cape Town: Oxford University Press.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

NEKI MATEMATIČKI MODELI ZA ODREĐIVANJE RAVNOTEŽE U IS-LM MODELU I ANALIZA REŠENJA

SOME MATHEMATICAL MODELS FOR DETERMINATION OF EQUILIBRIUM POINT IN IS-LM MODEL AND ANALYSIS OF THE SOLUTION

JELENA STANOJEVIĆ[1]
MAJA JANDRIĆ[2]

[1]Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, jelenas@ekof.bg.ac.rs
[2]Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, maja@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je dat kratak osvrt na IS-LM model. Ukratko je predstavljeno izvođenje modela, tj. IS i LM relacija, i kroz primere sistema linearnih jednačina i diferencne jednačine drugog reda razmatrano je rešenje. Za ovaj drugi slučaj analizirana je takođe i stabilnost rešenja kroz zadati problem.*

Ključne reči: *IS relacija, LM relacija, ravnotežna tačka, stabilnost rešenja*

Abstract: *In this paper we gave a short review of the IS-LM model. Derivation of the model was briefly presented, i.e. IS and LM relations, and through examples of the system of linear equations and diference equation of the second order, we considered solution. For this second case we analysed stability of the equilibrium point through given problem.*

Keywords: *IS relation, LM relation, equilibrium point, stability of the solution*

1. UVOD

U radu je ukratko dato izvođenje IS i LM relacija i istovremene ravnoteže na finansijskim tržištima i na tržištu dobara, kao tačke koja se nalazi na obema krivama. Prvo, kroz sistem linearnih jednačina, kao najjednostavniji oblik modela, dato je izvođenje i nalaženje ravnotežne tačke, a zatim je izabran nešto komplikovaniji model i kroz diferencne jednačine drugog reda dato je izvođenje ravnotežne tačke. Za ovaj drugi slučaj, data je analiza stabilnosti ravnotežne tačke kroz zadati problem. Takođe, na kraju rada dat je jedan novi pravac u kome bi moglo da krene dalje istraživanje, na bazi postojećeg modela, sa sistemom diferencnih jednačina (na tržištu rada), uz izmenu datih jednačina i nalaženje nove ravnotežne tačke za taj slučaj, kao i njene analize stabilnosti.

2. IZVOĐENJE IS-LM MODELA

U ovom delu ćemo prvo posebno razmotriti tržište dobara i finansijska tržišta, a zatim oba tržišta zajedno, kako bismo dobili jedan mogući okvir za određivanje nivoa proizvodnje (dohotka) i kamatne stope na kratak rok. Ravnoteža na tržištu dobara podrazumeva da proizvodnja (Y) bude jednaka ukupnoj tražnji za dobrima (Z). Z se može napisati na sledeći način:

$$Z \equiv C + I + G + X - IM \ , \tag{1}$$

čime se tražnja Z definiše kao zbir potrošnje (C), investicija (I), državne potrošnje (G) i izvoza (X), umanjenog za uvoz (IM). Pretpostavljamo da je privreda zatvorena, što znači da ne trguje sa ostatkom sveta, pa su i izvoz i uvoz jednaki 0. Sada se tražnja može predstaviti kao suma prva tri člana, tj.

$$Z \equiv C + I + G \ . \tag{2}$$

Dalje ćemo ukratko razmotriti sve komponente posebno, od čega zavise i u kom pravcu, tj. da li su rastuće ili opadajuće funkcije posmatranih argumenata.

Potrošnja C zavisi od mnogih faktora, ali se posmatra kao funkcija raspoloživog dohotka Y_D, što je iznos koji preostane pošto potrošači prime transfere od države i plate poreze, tj. $Y_D \equiv Y - T$ (radi jednostavnosti sa T ćemo označavati poreze umanjene za državne transfere). Veći dohodak povećava potrošnju, dok veći porez smanjuje potrošnju, te je $C = C(Y_D) = C(Y - T)$. Zbog jednostavnosti se može pretpostaviti da postoji linearna veza, tj. $C(Y,T) = C_0 + c_1(Y - T)$, pri čemu je C_0 nivo potrošnje koji postoji i kada je raspoloživi dohodak jednak nuli, a c_1 granična sklonost potrošnji. Dalje, zbog jednostavnosti se često posmatra da su investicije I konstantne i date, tj. ne objašnjavaju se unutar modela. Treba imati na umu da ovakva pretpostavka nije bez posledica, jer prilikom analize efekata promene proizvodnje pretpostavljamo da investicije ne reaguju na te promene, što ne mora sasvim ispravno da prikaže stvarnost. Ovde ćemo pretpostaviti da su investicije funkcija dve promenljive, proizvodnje i kamatne stope, tj. $I = I(Y,i)$, i to rastuća po prvom argumentu Y i opadajuća po drugom argumentu i. Takođe, sledeće dve varijable koje pokazuju delovanje fiskalne politike, državnu potrošnju G i poreze T, posmatraćemo kao egzogene varijable.

Ukoliko sada razmotrimo ravnotežu na tržištu dobara (uz pretpostavku da firme ne drže zalihe) i za početak uzmemo investicije kao date i konstantne, proizvodnja Y jednaka je tražnji za dobrima Z, gde tražnja sa svoje strane zavisi od raspoloživog dohotka Y, tj. dobijamo jednačinu uslova ravnoteže:

$$Y = Z \ ,$$

$$Y = C_0 + c_1(Y - T) + I + G \ \rightarrow Y = \frac{1}{1-c_1}(C_0 + I + G - c_1 T) \ . \tag{3}$$

Prethodna jednačina pokazuje ravnotežnu proizvodnju, tj. nivo proizvodnje pri kome je proizvodnja jednaka ukupnoj tražnji.

Ukoliko posmatramo uopšteniji slučaj, tj.

$$Z = C(Y - T) + I(Y,i) + G \ ,$$

ravnotežni uslov na tržištu dobara postaje:

$$Y = C(Y - T) + I(Y,i) + G \ , \tag{4}$$

što predstavlja proširenu IS relaciju. Povećanje kamatne stope preko uticaja na smanjenje investicija smanjuje tražnju za dobrima, što dovodi do smanjenja ravnotežnog nivoa proizvodnje. Ovaj odnos između kamatne stope i proizvodnje je u koordinatnom sistemu u kojem je Y na horizontalnoj, a *i* na vertikalnoj osi kriva s opadajućim nagibom - IS kriva.

Razmotrimo sada finansijska tržišta. Prvo ćemo objasniti tražnju za novcem. Sa M^d označavamo iznos novca koji ljudi žele da čuvaju, tj. tražnju za novcem. Ona zavisi od ukupnog nivoa transakcija u privredi, koji je srazmeran nominalnom dohotku, i od kamatne stope, što se može prikazati sledećom jednačinom:

$$M^d = \$\mathrm{YL(i)} \ ,$$

gde \$Y označava nominalni dohodak, a $L(i)$ označava funkciju kamatne stope. Za datu kamatnu stopu, povećanje nominalnog dohotka povećava tražnju za novcem. Sa rastom kamatne stope tražnja za novcem opada.

Razmotrimo sada ponudu novca. Pretpostavimo da centralna banka odluči da obezbedi količinu novca jednaku M, tako je onda ponuda novca upravo jednaka M, tj.

$$M^s = M \ ,$$

te ravnoteža na finansijskim tržištima zahteva da ponuda novca bude jednaka tražnji za novcem, odnosno:

$$M^s = M^d \ \rightarrow M = \$\mathrm{YL(i)} \ . \tag{5}$$

Ova ravnotežna jednačina se naziva LM relacija.

Prethodna jednačina pokazuje vezu između novca, nominalnog dohotka i kamatne stope. Korisno je preformulisati je u vezu između realnog novca, realnog dohotka i kamatne stope. Ukoliko se obe strane jednačine (5) podele sa nivoom cena, P, dobija se:

$$\frac{M}{P} = YL(i) \ . \tag{6}$$

Tako, za ravnotežni uslov možemo da kažemo da je uslov da je realna ponuda novca jednaka realnoj tražnji za novcem, a ona zavisi od realnog dohotka Y i od kamatne stope i. Jednačinu (6) dalje zovemo LM relacija.

Ravnoteža na finansijskim tržištima podrazumeva da je, za datu novčanu masu, kamatna stopa rastuća funkcija dohotka. Drugim rečima, da bi se održala ravnoteža na tržištu novca, rast dohotka mora biti praćen rastom kamatne stope. Ova relacija je u koordinatnom sistemu u kojem je Y na horizontalnoj osi, a i na vertikalnoj osi, predstavljena krivom sa rastućim nagibom, tj. LM krivom.

Spajanjem ove dve relacije, IS i LM, tražimo istovremenu ravnotežu na oba tržišta, što znači da ponuda i tražnja za dobrima moraju da budu jednake, kao i ponuda i tražnja za novcem, a one zajedno određuju i proizvodnju i kamatnu stopu:

$$IS\ relacija: Y = C(Y - T) + I(Y, i) + G \ ,$$

$$LM\ relacija: Y = \frac{M}{P} = YL(i) \ .$$

Za detalje pogledati Blanchard (2017).

3. MODELIRANJE LINEARNIM JEDNAČINAMA

Razmotrimo ovde prvo linearni slučaj, tj. ravnotežu na tržištu dobara koja je predstavljena jednačinom

$$Y = C + I + G \ ,$$

sa zadatim jednostavnim linearnim vezama:

$$C = C_0 + bY,$$

$$I = I_0 - ai \ ,$$

gde su a, b, C_0, I_0 pozitivne konstante, odnosno odgovarajući parametri koji pokazuju ponašanje potrošnje u zavisnosti od dohotka, i investicija u zavisnosti od kamatne stope, dok se G posmatra kao parametar vođenja politike.
Za ravnotežni uslov se dobija:

$$Y = (C_0 + bY) + (I_0 - ai) + G \ \rightarrow (1 - b)Y + ai = C_0 + I_0 + G \ .$$

Sa druge strane, na finansijskim tržištima važi:

$$M^s = M^d \ ,$$

gde je $M^s = M$ dati parametar (drugi parametar vođenja politike), a za tražnju za novcem se pretpostavlja linearna veza sa dohotkom Y i kamatnom stopom i, tj.

$$M_d = M_0 + fY - gi \ ,$$

gde su f, g i M_0 pozitivne konstante. Za ravnotežni uslov se dobija:

$$M = M_0 + fY - gi \ \rightarrow fY - gi = M - M_0 \ .$$

Ova dva ravnotežna uslova možemo napisati kao sistem od dve linearne jednačine po nepoznatim Y i i:

$$fY - gi = M - M_0 \ ,$$

$$(1 - b)Y + ai = C_0 + I_0 + G \ .$$

Dobijeni sistem se može matrično zapisati i rešiti,

$$\begin{pmatrix} f & -g \\ 1 - b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M - M_0 \\ C_0 + I_0 + G \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} Y \\ i \end{pmatrix} = \frac{1}{fa + g(1-b)} \begin{pmatrix} a & g \\ -(1 - b) & f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M - M_0 \\ C_0 + I_0 + G \end{pmatrix},$$

gde su ravnotežne vrednosti:

$$Y^* = \frac{a(M - M_0) + g(C_0 + I_0 + G)}{fa + g(1-b)},$$

$$i^* = \frac{-(1-b)(M-M_0)+f(C_0+I_0+G)}{fa+g(1-b)} . \quad (7)$$

Dobijeni rezultat može pomoći prilikom razmatranja šta se dešava prilikom promena parametara vođenja politike i parametara ponašanja. Tako na primer, kakav će uticaj na ravnotežnu kamatnu stopu imati odluka vlade da poveća državnu potrošnju G? Nalaženjem odgovarajućeg prvog parcijalnog izvoda iz formule (7) dobija se: $\frac{\partial i^*}{\partial G} = \frac{f}{fa+g(1-b)}$, što govori da rast državne potrošnje G dovodi do rasta ravnotežne kamatne stope i, ako je ispunjeno: $\frac{f}{fa+g(1-b)} > 0$. Kako su parametri a, b, f i g pozitivni, to se prethodni uslov tim pre svodi na $1 - b > 0$, što je ispunjeno za $b < 1$. Treba još napomenuti da je ovaj uslov zadovoljen u realnim modelima iz razloga što iz $C = C_0 + bY$ sledi $bY < C$, i iz $Y = C + I + G$ sledi $C < Y$, pa imamo $bY < Y$, odakle je $b < 1$.

4. MODELIRANJE DIFERENCNOM JEDNAČINOM DRUGOG REDA

Treba reći da smo do sada zanemarivali dinamiku. Pretpostavljali smo da se privreda trenutno pomera uz odgovarajuće efekte. Ipak, jasno je da prilagođavanje proizvodnje zahteva određeno vreme. Uvođenje vremenske dimenzije, tj. dinamike, se može uspostaviti, između ostalog, modelom diferencnih jednačina.

Za početak, razmotrimo prvo granično ponašanje rešenja diferencne jednačine i navedimo osnovne teoreme koje daju potreban i dovoljan uslov za stabilnost fiksne tačke i konvergenciju i oscilovanje rešenja. Posmatraćemo za početak homogenu diferencnu jednačinu drugog reda koja ima sledeći oblik:

$$x_t + a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} = 0 \text{ , } a_2 \neq 0,$$

za koju su koreni karakteristične jednačine:

$$\lambda_{1,2} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2}}{2} .$$

U zavisnosti od korena karakteristične jednačine rešenje homegene diferencne jednačine ima različite forme. Uočimo da je fiksna tačka ove diferencne jednačine 0. Nas ovde zanima kvalitativno ponašanje rešenja, što daje sledeća teorema.

Teorema 1: (Neusser, 2016) (Granično ponašanje rešenja homogene diferencne jednačine) Za homogenu diferencnu jednačinu drugog reda važi sledeće:

a) Sva rešenja osciliraju oko nule akko odgovarajuća karakteristična jednačina nema pozitivan realan koren.
b) Sva rešenja konvergiraju ka nuli (tj. nula je asimptotski stabilna fiksna tačka) akko $\max(|\lambda_1|, |\lambda_2|) < 1$.

Posmatrajmo sada nehomogenu diferencnu jednačinu drugog reda:

$$x_t + a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} = \mathrm{z} \text{ , } z \neq 0. \quad (8)$$

Fiksna tačka više nije nula, već je tačka koja se nalazi iz sledeće jednačine: $x^* + a_1 \mathrm{x}^* + a_2 \mathrm{x}^* = \mathrm{z} \rightarrow \mathrm{x}^* = \frac{\mathrm{z}}{1+a_1+a_2}$,$1 + a_1 + a_2 \neq 0$. Kako je fiksna tačka jedno partikularno rešenje ove diferencne jednačine, opšte rešenje ima sledeći oblik: $x_t = x^* + x_t^{(h)}$, gde je $x_t^{(h)}$ rešenje odgovarajuće homogene jednačine. Tako imamo, rešenje x_t konvergira ka fiksnoj tački x^* akko $x_t^{(h)}$ konvergira ka nuli kada $t \rightarrow \infty$, dok rešenje x_t oscilira oko fiksne tačke x^* akko $x_t^{(h)}$ oscilira oko nule. Bazirano na gore navedenoj teoremi, važi sledeća teorema.

Teorema 2: (Neusser, 2016) (Granično ponašanje rešenja nehomogene diferencne jednačine) Za nehomogenu diferencnu jednačinu drugog reda (8) , za koju je $1 + a_1 + a_2 \neq 0$, važi sledeće:

a) Sva rešenja osciliraju oko fiksne tačke x^* akko odgovarajuća karakteristična jednačina nema pozitivan realan koren.
b) Sva rešenja konvergiraju ka x^* (tj. x^* je asimptotski stabilna fiksna tačka) akko $\max(|\lambda_1|, |\lambda_2|) < 1$.

Takođe, na osnovu gore dve navedene teoreme, može se dokazati sledeće, pogledati Neusser (2016).

Teorema 3: (Neusser, 2016) (Uslov stabilnosti za diferencnu jednačinu drugog reda) Fiksna tačka x^* je asimptotski stabilna (tj. sva rešenja konvergiraju ka x^*) akko su zadovoljena sledeća tri uslova:

a) $1 + a_1 + a_2 > 0$,
b) $1 - a_1 + a_2 > 0$,
c) $1 - a_2 > 0$.

Razmotrimo sada primenu diferencnih jednačina. Dalje ćemo posmatrati samo tržište dobara i četiri veličine: dohodak Y, investicije I, potrošnju C i državnu potrošnju G, i pretpostavićemo da svaku veličinu možemo meriti u uzastopnim vremenskim periodima jednakih razmaka, na primer svake godine. Označimo sa Y_t, I_t, C_t i G_t vrednosti ovih veličina u trenutku t. Sada je ravnotežni uslov zadat jednačinom: $Y_t = I_t + C_t + G_t$, za svaki trenutak t. U literaturi je poznat sledeći model:

$$C_t = c + bY_{t-1} \,, \tag{9}$$
$$I_t = a(Y_{t-1} - Y_{t-2}) \,,$$

gde su a, b i c pozitivne konstante i $b < 1$. Iz ravnotežnog uslova se može dobiti nehomogena diferencna jednačina drugog reda po dohotku Y_t:

$$Y_t = I_t + C_t + \mathrm{G_t} \;\rightarrow\; Y_t = \mathrm{c} + (a+b)Y_{t-1} - aY_{t-2} + \mathrm{G_t} \text{ , tj.}$$
$$Y_t - (a+b)Y_{t-1} + aY_{t-2} = c + G_t \,,$$

čijim se rešavanjem dobija opšte rešenje.

Pretpostavimo dalje da je državna potrošnja konstantna tokom vremena i da iznosi G. Nalazimo fiksnu tačku Y^*, za koju važi: $Y^* - (a+b)Y^* + aY^* = c + G \;\rightarrow\; Y^* = \frac{c+G}{1-b}$. Njena stabilnost može se ispitati pomoću uslova Teoreme 3, koji moraju biti zadovoljeni. Naime, za stabilnost fiksne tačke potrebna tri uslova se svode na sledeće uslove:

1. $1 - (a+b) + a = 1 - b > 0$,
2. $1 + (a+b) + a = 1 + 2a + b > 0$,
3. $1 - a > 0$.

Za zadati model prva dva uslova su automatski ispunjena, treći uslov se svodi na $a < 1$. Tako je fiksna tačka asimptotski stabilna ako je ispunjen ovaj dodatni uslov. Iz Teoreme 2, sa druge strane sledi da Y_t oscilira oko svoje fiksne tačke ako karakteristična jednačina nema pozitivan realan korena, gde su koreni dati:

$$\lambda_{1,2} = \frac{(a+b) \pm \sqrt{(a+b)^2 - 4a}}{2} \,.$$

Ako su koreni realni, oni su pozitivni i strogo manji od 1. Samo u slučaju kada su koreni kompleksni može doći do oscilovanja Y_t oko fiksne tačke, tj. za $(a+b)^2 - 4a < 0$, i tada su moduli korena strogo manji od 1.

U slučaju kada državna potrošnja nije fiksna, već se menja kroz vreme, može se primeniti metod neodređenih koeficijenata kako bi se našlo partikularno rešenje odgovarajuće nehomogene diferencne jednačine. To razmatranje izlazi iz okvira ovog rada, pogledati na primer Malik (1998).

Motivisani primerima iz Anthony (2011), analizirajmo sada konkretan primer, sa nešto drugačijom vezom između potrošnje, dohotka i investicija od date veze (9), koja se svodi na homogenu diferencnu jednačinu drugog reda.

Neka su date veze između potrošnje i dohotka u prethodnom i sadašnjem trenutku, i investicija i dohotka u sadašnjem i narednom trenutku, sledećim formulama:

$$C_t = \frac{1}{3}(C_{t-1} + Y_t) \,,$$
$$Y_{t+1} = kI_t \,,\; k > 0 \,.$$

Iz uslova ravnoteže odredimo opšte rešenje za dohodak i analizirajmo ponašanje rešenja za različite vrednosti parametra k, i posebno, na primer za $k = 1$ odredimo opšte rešenje i njegovo ponašanje.

Naime, prvo ćemo odrediti opšti oblik diferencne jednačine koju treba rešiti. Iz date veze sledi: $I_t = \frac{1}{k} Y_{t+1}$, dok iz uslova ravnoteže $Y_t = C_t + I_t$, sledi: $C_t = Y_t - I_t = Y_t - \frac{1}{k} Y_{t+1}$. Posle prelaska sa koraka t na korak $t-1$ u poslednjoj vezi, a zatim i zamenom t sa $t-1$ (čime se $t+1$ zamenjuje sa t, a $t-1$ sa $t-2$), dobija se odgovarajuća homogena diferencna jednačina drugog reda:

$$Y_t - \left(\frac{2k+1}{3}\right) Y_{t-1} + \frac{k}{3} Y_{t-2} = 0 \,.$$

Imajući na umu kako izgleda opšte rešenje homogene diferencne jednačine drugog reda u zavisnosti od rešenja pridružene karakteristične jednačine, pogledati na primer Elayde (1999), analizirajmo ovu jednačinu u zavisnosti od parametra k.

Pridružena karakteristična jednačina je oblika:

$$\lambda^2 - \left(\frac{2k+1}{3}\right) \lambda + \frac{k}{3} = 0 \,.$$

Za $(\frac{2k+1}{3})^2 > \frac{4k}{3} \;\rightarrow\; k < 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \vee k > 1 + \frac{\sqrt{3}}{2}$, karakteristična jednačina ima dva realna i različita rešenja

$$\lambda_{1,2} = \frac{\frac{2k+1}{3} \pm \sqrt{(\frac{2k+1}{3})^2 - \frac{4k}{3}}}{2} \,,$$

te je opšte rešenje zadate diferencne jednačine:

$$Y_t = A{\lambda_1}^t + B{\lambda_2}^t \,,$$

gde se konstante A i B određuju iz početnih uslova (napomenimo da ovde nismo zadavali početne uslove) i kako za oba rešenja karakteristične jednačine važi: $\lambda_1, \lambda_2 > 0$, to nema oscilatornog ponašanja opšteg rešenja Y_t.

Takođe, za $(\frac{2k+1}{3})^2 = \frac{4k}{3} \;\rightarrow\; k = 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \vee k = 1 + \frac{\sqrt{3}}{2}$, karakteristična jednačina ima dva realna i jednaka rešenja $\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{2\mathrm{k}+1}{6}$, te je opšte rešenje oblika: $Y_t = (At + B){\lambda_1}^t$. Kako je $\lambda_1 > 0$, to ni u ovom slučaju nem oscilovanja rešenja.

Za $(\frac{2k+1}{3})^2 < \frac{4k}{3} \rightarrow 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} < k < 1 + \frac{\sqrt{3}}{2}$, karakteristična jednačina ima konjugovano kompleksna rešenja i opšte rešenje diferencne jednačine je oblika:

$$Y_t = \left(\frac{\sqrt{k}}{\sqrt{3}}\right)^t (C \cos \theta t + D \sin \theta t) \,,$$

gde je $\cos \theta = \frac{2k+1}{2\sqrt{3k}}$, dok konstante C i D određujemo iz početnih uslova. U zavisnosti od k rešenje Y_t oscilira sa rastućom (opadajućom) amplitudom, u zavisnosti od toga da li je $\sqrt{k} > (<) \sqrt{3}$ redom, dok u ovom slučaju, za $1 - \frac{\sqrt{3}}{2} < k < 1 + \frac{\sqrt{3}}{2}$, rešenje oscilira sa opadajućom amplitudom.

Specijalno, za $k = 1$, opšte rešenje je $Y_t = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^t (C \cos \frac{\pi}{6} t + D \sin \frac{\pi}{6} t)$. Kako je $C = Y_0 > 0$ i koeficijent $\frac{1}{\sqrt{3}} < 1$, to rešenje Y_t oscilira sa opadajućom amplitudom.

Na samom kraju, daćemo još jedan primer koji pokazuje kako se pomoću sistema diferencnih jednačina rešava problem pronalaženja ravnotežnog stanja i mogući pravac daljeg istraživanja. Naime, dajemo model iz tržišta rada, koji se može naći u Neugart (2004). Promena nezaposlenosti je data jednačinom:

$$U_{t+1} - U_t = i(L - U_t) - o_t U_t \,,$$

gde U označava nezaposlenost, $L = 1$ označava radnu snagu, i stopu ulaska u nezaposlenost, a o_t stopu izlaska iz nezaposlenosti, koja se zadaje sledećom jednačinom:

$$o_t = \frac{J_s + \gamma(m - \pi_t)}{U_t + d(1 - U_t)} \,.$$

U prethodnoj jednačini J_s označava stvaranje novih radnih mesta koje je nastalo zahvaljujući strukturnim karakteristikama privrede. Ukupno stvaranje novih radnih mesta J_t možemo podeliti na strukturni deo J_s i ciklični deo $J_c = \gamma(m - \pi_t)$, gde je parametar $\gamma > 0$, m egzogena stopa rasta novca i π_t stopa inflacije u trenutku t. Parametar $0 < d < 1$ se odnosi na (konstantan) udeo zaposlenih koji traže drugi posao. Ostalo je još da damo jednačinu za inflaciju:

$$\pi_{t+1}^e = a\pi_t + (1-a)\pi_t^e \ , 0 < a < 1 \ ,$$

i važi:

$$\pi_t = \frac{1}{\delta}(\pi_t^e + \frac{\mu-(1-b)U_t}{1-\mu}) \ ,$$

sa parametrima: $\delta > 1$ (parametar koji pokazuje pretpostavku da firme ne mogu povećati cene u istoj meri u kojoj su povećane nominalne nadnice u određenom vremenskom periodu *t*), $\mu \geq 0$ (tzv. *mark-up*) i $0 < b < 1$ (b se odnosi na rezervacionu nadnicu[1]). Ove jednačine daju sistem diferencnih jednačina:

$$U_{t+1} = f(U_t, \pi_t) \ ,$$

$$\pi_{t+1} = g(U_t, \pi_t) \ ,$$

gde su:

$$f(U_t, \pi_t) = \mathrm{U_t} + \mathrm{i}(1-\mathrm{U_t}) - \mathrm{U_t}\frac{\mathrm{J_s}+\gamma(\mathrm{m}-\pi_\mathrm{t})}{\mathrm{U_t}+\mathrm{d}(1-\mathrm{U_t})} \ ,$$

$$g(U_t, \pi_t) = \frac{1}{\delta}(\frac{\mu}{1-\mu} + \mathrm{a}\pi_\mathrm{t} + (1-\mathrm{a})\left(\delta\pi_\mathrm{t} - \frac{\mu-(1-\mathrm{b})\mathrm{U_t}}{1-\mu}\right) - \frac{1-b}{1-\mu}\left(U_t + i(1-U_t) - U_t\frac{\mathrm{J_s}+\gamma(\mathrm{m}-\pi_\mathrm{t})}{\mathrm{U_t}+\mathrm{d}(1-\mathrm{U_t})}\right)) \ .$$

J_s se dobija iz pretpostavke da je u ravnotežnom stanju inflacija jednaka stopi rasta novca m, tj.

$$J_s = i(1-U^*)(U^* + d(1-U^*)) \ / \ U^* \ ,$$

i za ravnotežno stanje se dobija:

$$(U^*, \pi^*) = (\frac{\mu - m(\delta-1)(1-\mu)}{1-b}, m) \ .$$

Dalje je stabilnost ravnotežnog stanja određena sopstvenim vrednostima odgovarajuće Jakobijan matrice u ravnotežnom stanju. Detalji analize su ovde izostavljeni. To bi mogao biti mogući pravac daljeg istraživanja, kao i zadavanje odgovarajućih jednačina u drugom obliku, a možda treba razmisliti i o uvođenju slučajnog člana koji bi odgovarao realnom slučaju.

5. ZAKLJUČAK

Problem pronalaženja ravnotežne tačke na finansijskim tržištima i tržištu dobara, jeste jedan od osnovnih zadataka u ekonomiji. U ovom radu je kroz zanimljive praktične primere pokazano kako se osnovni matematički aparat koristi u cilju rešavanja tog problema. Naime, dat je model sistema linearnih jednačina i model diferencnih jednačina, koji se najčešće koriste. Za ovaj drugi model je takođe data analiza ponašanja rešenja kroz beskonačno vreme. Naime, pomoću osnovnih teorema koje daju uslove stabilnosti i oscilovanja rešenja, analiziran je konkretan problem, i postavljeni su uslovi za parametre modela.

LITERATURA

[1] Anthony, M. (2011). Mathematics 2. Undergraduate study in Economics, Menagement, Finance and the Social Sciences. The London School of Economics and Political Science.

[2] Blanchard, O.,J. (2017). Macroeconomics. (7th ed.). Pearson Education.

[3] Elaydi, S., N. (1999). An introduction to difference equation. Springer.

[4] Malik, R., K. (1998). Solutions of linear difference equations with variable coefficients. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 222, 79-91.

[1] Kada nema nezaposlenih pretpostavka modela koji je razvijen u Neugart (2004) je da će pregovarana realna nadnica biti jednaka marginalnoj produktivnosti rada koja je zbog jednostavnosti normalizovana na vrednost 1. Ako su svi nezaposleni, tada će pregovarana realna nadnica biti jednaka rezervacionoj nadnici *b*.

[5] Neugart, M. (2004) Complicated dynamics in a flow model of the labor market. Journal of Economics and Behavior & Organization, Vol. 53, 193-213.

[6] Neusser, K. (2016). Diference equations for economists. Preliminary

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ОЦЈЕНУ ЕФЕКАТА КУПОВИНЕ ДОМАЋИХ ПРОИЗВОДА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ

MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING THE EFFECTS OF PURCHASE OF DOMESTIC PRODUCTS IN REPUBLIC OF SRPSKA

БОЈАН КРЕСОЈЕВИЋ [1]

[1] Економски факултет у Бањој Луци, bojankresojevic@outlook.com

Резиме: *У раду ће бити представљен математички модел који описује сегмент функционисања привреде Републике Српске. Модел представља модификацију инпут – аутпут табеле и друштвене рачуноводствене матрице. Модел се може користити на више начина, попут: израчунавање ефеката промјене понашања одређеног институционалног сектора на остале секторе, израчунавање ефеката промјене структуре привреде, односно промјена токова потрошње и дохотка унутар привреде. Основна примјена модела се односи на израчунавање мултипликативних ефеката који произилазе из промјене вриједности егзогених варијабли у моделу. Да би се поспјешио раст домаће привреде, потребно је подстаћи потражњу за добрима и услугама. Један од начина да се то учини је преусмјеравање потражње резидената са потражње за увозним добрима, на потражњу за домаћим добрима. За то је потребно донијети скуп мјера, како би се подстакла супституција увозних добара домаћим. Зависно од дефинисаних претпоставки ефекат куповине домаћих производа може се изразити мултипликатором у распону од 1,44 до 2,14.*

Кључне речи: *Математички модел, мултипликатор, бруто домаћи производ, домаћи производи, привредни раст.*

Abstract: *In the paper, it will be introduced a mathematical model which describes functioning of the economy segment of Republic of Srpska. The model is modification of input – output table and Social Accounting Matrix (SAM). It is possible to use the model for more purposes, as: effects evaluation of change in behavior of certain institutional sector on other sectors, effects evaluation of change in economy structure, as change in consumption flows or income flows. Basic application is related on evaluation of multiplied effects which are caused with change in exogenous variables in model. To accelerate economic growth, it is necessary to instigate demand for domestic goods and services. One way to do that is substitution of demand from import goods to domestic goods. It is necessary to make few decisions and measures to support substitution of import goods with domestic goods. Depending on formulated assumption, effects of buying domestic product could be presented with multiplier in interval from 1.44 to 2.14..*

Keywords: *mathematical model, multiplier, Gross domestic product, domestic products, economic growth.*

1. УВОД

Након 2008. године Република Српска биљежи врло успорен економски раст, који просјечно износи 0,69%, номинално. Обим спољнотрговинске размјене Републике Српске са иностранством је све већи и повећао се са 80% на 109% бруто домаћег производа у периоду од 2007. до 2014. године. Размјена са иностранством повећава ефикасност тржишта повећавајући конкуренцију и опскрбљујући тржиште добрима који се не могу произвести на датом тржишту или не уз адекватан ниво продуктивности. Међутим, савремено тржиште показује одређене контрадикције. Тако Република Српска увози воду за пиће, иако је општепознато да располаже релативно великим количинама чисте воде. Такође, становници Републике Српске неријетко користе увозне млијечне производе, иако увозни производи не показују значајну предност ни у погледу цијене, ни у погледу квалитета. Проблем истраживања – Како повећати привредни раст у Републици Српској, те учинити животни стандард вишим? Ово је проблем који је увијек актуелан, с обзиром да се носиоци економске политике увијек питају да ли је тренутни економски раст довољан, односно да ли га је могуће повећати. Међутим, у посљедњих неколико година, у Републици Српској, врло је лако уочити да привреда не биљежи довољан економски раст, с обзиром да је стопа раста нижа чак и од веома развијених земаља. У складу с тим, потребно је

идентификовати начин на који се може усмјерити економија како би се увећала стопа раста. Предмет истраживања – Примјена модела са линеарним релацијама у области макроекономских агрегата. У раду ће бити испитивани ефекти супституције куповине увозних добара домаћим производа. Како би се оцијенили ефекти, биће кориштен математички модел са линеарним релацијама. Циљ истраживања – Обезбиједити већи привредни раст у Републици Српској преферирањем домаћих, насупрот увозних производа, те представљање инструментарија за испитивање ефеката економске политике. При томе би држава имала веће приходе по основу пореза, фирме по основу продаје производа, а становници по основу дохотка од рада и пензија. Научни циљ је да се презентује могућност примјене математичког модела заснованог на линеарним релацијама, у области макроекономског моделирања, предвиђања и оцјене ефеката економске политике. Главна хипотеза – Супституција увоза потражњом за домаћим производима довешће до значајног привредног раста привреде Републике Српске.

2. МАКРОЕКОНОМСКИ МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ

Један од првих истакнутих радова на ову тему написао је François Quesnay (1694 – 1774). Quesnay је био берберин на двору Луја XV у XVIII вијеку. Боравећи на двору у Версају, Quesnay је развио сопствене економске теорије, које су постале окосница економске теорије у Француској, у то вријеме – физиократизма. Његов рад, којег је назвао Tableau Economique, објављен је 1759. године и у њему је математички описивао трансакције између племића, пољопривредника и других учесника у размјени добара и услуга. Истина је, Quesnay тада није посједовао детаљне статистичке податке, већ је своје истраживање заснивао на личном просуђивању, искуству и процјени ефеката, видјети Dutchin (2007) и Marxist.org. Веома значајан допринос овој области, дао је нобеловац Wasilly Leontief (1906 – 1999). Свој први рад из ове области Leontief је назвао, по узору на Quesnay – а, Tableau Economique of United States for 1919. У овом раду Leontief је поставио темељ Input – Output (у даљем тексту: инпут – аутпут) табеле. За конструкцију инпут - аутпут табеле добио је Нобелову награду 1973. године. Инпут – аутпут табела одражава постојање међусекторске зависности унутар привреде. Саставни дио те табеле су понуда и потражња за добрима и услугама појединачних сектора.

Према мишљењу професора Станојевића, сви макроекономски математички модели се могу подијелити у сљедеће: међусекторске, оптимизационе и економетријске, видјети Станојевић (1998). Међусекторски модели, за разлику од оптимизационих модела, немају примарну сврху израчунавања оптималног рјешења, већ одређивање ефеката одређених мјера економске политике или егзогених промјена. Међусекторски модели почивају на инпут – аутпут табели, креираној за привреду одређене територије, у одређеном временском периоду. Претпоставка инпут – аутпут табеле је да је привреда подијељена на n сектора, тако да сваки сектор производи хомоген производ, на јединствен технолошки начин. Такође, претпостављено је да је производна функција линеарна, те је привредни раст занемарен у статичком међусекторском моделу. Нешто другачији приступ у математичком макро моделирању заступљен је у матрици друштвеног рачуноводства (енгл. – Social Accounting Matrix). Пионир у писању радова на тему матрице друштвеног рачуноводства био је Sir Richard Stone (1913-1991) у 60 – тим годинама двадесетог вијека. Он је матрицу друштвеног рачуноводства примјењивао на подацима за Велику Британију. Даљи допринос развијању овог модела дали су: Pyatt, Thorbecke и Round, видјети Round (2003) . Матрица друштвеног рачуноводства приказује приливе различитих сектора у редовима, те њихове одливе у колонама. Она пружа шири увид у функционисање економског система од инпут – аутпут табеле, видјети Deb Pal & Bandarlage (2017).

3. ДЕФИНИЦИЈЕ И КОМПОНЕНТЕ БДП-А

Бруто домаћи производ представља вриједност роба и услуга произведених на одређеној територији, у одређеном временском периоду, који су продани или је реално очекивати да ће бити продани. БДП (Y) се, према потрошном приступу, састоји од: домаће потрошње (C), инвестиционе потрошње (I), владине потрошње (G) и нето извоза (NX), видјети Mankiw (2003).

Домаћа потрошња (C) представља укупну вриједност добара и услуга, купљених од стране домаћинстава и непрофитних организација. Инвестициона потрошња (I) представља укупну вриједност добара и услуга, купљених од стране предузећа (фирми), кориговану за промјену у нивоу залиха. Владина потрошња (G) представља укупну вриједност добара и услуга, купљених од стране владе и владиних институција. Нето извоз (NX) представља вриједност нето продаје остатку свијета, која је добијена као разлика између увоза и извоза. Бруто домаћи производ, према доходовном приступу, састоји се од суме новца утрошеног на потрошњу домаћинстава (C), штедњу приватног сектора (S) и нето пореза (T), видјети Burda & Wiplosz (2004). За потребе овог рада, претходно наведене

двије дефиниције биће модификоване, те ће бруто домаћи производ бити приказан сљедећим једначинама:

$$\boldsymbol{Y = C' + I' + G' + X} \quad (1)$$

$$\boldsymbol{Y = H + F + T} \quad (2)$$

Једначина (3.1.) показује бруто домаћи производ као суму свих финалних добара и услуга (производа) проданих: домаћинствима (C'), предузећима (I'), држави (G') и иностранству (X). За разлику од дефиниције Mankiw-а претходно поменута једначина подразумијева да је цјелокупни увоз настао као пропорција укупне потрошње домаћинстава, предузећа и државе, односно као пропорција апсорпције . Једначина (3.2.) показује БДП као суму факторских доходака у једној држави, гдје су фактори груписани у три групе: домаћинства (H), предузећа (F) и државу (T). У статистичким публикацијама бруто домаћи производ по доходовном приступу представљен је као збир: Средстава за запослене (нето плате, доприноси и остали дохоци од рада – прим. аут.), пореза на производе и производњу, бруто мјештовитог дохотка и бруто пословног вишка. При чему бруто мјешовити доходак настаје након што се из бруто додане вриједности издвоје средства за запослене и порези на производњу, а бруто пословни вишак се односи на нефинансијски и финансијски сектор и импутирану ренту из сектора домаћинства, видјети Статистички годишњак Републике Српске (2015). За потребе обрачуна, а према смијерницама J. Round – а, на домаћинства су расподијељена средства за запослене и 50% нето мјешовитог дохотка. На фирме ће бити распоређен нето пословни вишак, потрошњу фиксног капитала и 30% нето мјешовитог дохотка. Влада (држава) наплаћује нето порезе на производњу и 20% нето мјешовитог дохотка.

Према ове двије дефиниције бруто домаћи производ треба да буде једнак, што представља уједно основицу за постављање модификованог макроекономског модела, базираног на линеарном програмирању.

4. МЕТОДОЛОГИЈА

Истраживање се огледа у испитивању ефеката подстицања куповине домаћих производа у Републици Српској. Испитивање је засновано на претпоставци супституције увозних производа домаћим производима. Овај метод израчунавања има дугу историју у економским истраживањима, види Bruton (1998), Pred (1966), Little (1982) и Watson, Cooke, Kay, Alward & Morales (2017). Суштина истраживања се односи на конструкцију макроекономског математичког модела, како би се оцијенили ефекти куповине домаћих производа, на бази претходно прикупљених и анализираних података.

4.1. Постављање модела

Модел је конструисан тако што се субјекти (институционални сектори) рашчлањују у четири групе: домаћинства, предузећа, држава и остатак свијета. У раду ће бити представљена два модела. Први, као егзогене величине узима вриједност извоза и вриједност буџетског суфицита/дефицита. Други, као егзогене величине поред извоза и буџетског суфицита/дефицита узима и одређени износ потрошње становништва и привреде. Претпоставка је да потрошња домаћинстава и предузећа не зависи у потпуности од дохотка.

Табела 1. – Табела распореда – Модел 1

	C'	*I'*	*G'*	*X*	*Укупно*	*H*	*F*	*T*	*ε*	*Укупно*
C'	x_{11}				*Σ*	x_{15}				*Σ*
I'		x_{22}			*Σ*		x_{26}			*Σ*
G'			x_{33}		*Σ*			x_{37}	x_{38}	*Σ*
X				x_{44}	*Σ*				x_{48}	*Σ*
Укупно	*Σ*	*Σ*	*Σ*	*Σ*	***Y***	*Σ*	*Σ*	*Σ*	*Σ*	***Y***
H	x_{51}	x_{52}	x_{53}	x_{54}	*Σ*	x_{55}				*Σ*
F	x_{61}	x_{62}	x_{63}	x_{64}	*Σ*		x_{66}			*Σ*
T	x_{71}	x_{72}	x_{73}	x_{74}	*Σ*			x_{77}		*Σ*
Укупно	*Σ*	*Σ*	*Σ*	*Σ*	***Y***	*Σ*	*Σ*	*Σ*	*Σ*	***Y***

Извор: Аутор

Вриједности по колони показују распоред вриједности одређене компоненте (изузев ако се тај податак налази на главној дијагонали), док вриједности по редовима показују стварање вриједности одређене компоненте (изузев вриједности на главној дијагонали). Колона ε показује егзогене вриједности у моделу, као што је вриједност буџетског дефицита (x_{38}) и вриједност извоза (x_{48}). Горњи лијеви и доњи десни квадрант су техничког карактера и показује вриједности величина које се налезе у претколони i – тог реда и заглављу j – те колоне. Доњи лијеви угао показује токове трансформације компонената потрошног у компоненте доходовног приступа мјерења бруто домаћег производа. Тако елемент x_{51} показује колики је доходак домаћинстава од потрошње домаћинстава. Елемент x_{52} показује колики је доходак домаћинстава који је настао продајом добара и услуга предузећима. Горњи десни квадрант представља токове трансформације компонената доходовног у компоненте потрошног приступа бруто домаћег производа. Овако постављен модел базиран је на претпоставци да је егзогено утврђена вриједност буџетског дефицита (може узимати позитиван и негативан предзнак), те да је извоз егзогено утврђен тј. да не зависи од вриједности компонената БДП-а у земљи, већ од других фактора. Такође, претпоставка модела је да су све остале варијабле модела (C', I', G', X, H, F и T) ендогене варијабле и да су у потпуности варијабилне, те у линеарној вези са осталим варијаблама. У табели су приказани xij при чему i – представља редни број реда у којем се налази наведена компонента (изузев редова који означавају збир), док j – представља редни број колоне (изузев колона у којима се налази збир). Два збира по истој колони се морају међусобно поклапати. Такође два збира по истом реду морају бити међусобно једнаки. Збир збирова представља укупну вриједност бруто домаћег производа. Овај модел се може модификовати на неколико начина. На примјер уколико се претпоставка фиксног буџетског дефицита у апсолутном износу замијени претпоставком фиксног буџетског дефицита у пропорцији од дохотка државе (T) у том случају елемент x_{38} постаје једнак нули, на рачун повећања елемента x_{37}. На бази ове табеле могуће је формирати матричну једначину која описује процес стварања бруто домаћег производа, при чему су познати процентуални износи распореда (aij – добије се као однос xij и збира у j – тој колони) за ендогене варијабле, а за егзогене варијабле су познате апсолутне вриједности. На бази коефицијената aij може се креирати квадратна матрица (M) седмог реда. Матрица M помножена са вектор колоном егзогених варијабли ($\vec{E}$), даје вектор колону ($\vec{Y}$) структуре бруто домаћег производа по оба приступа.

(3.1) $\mathrm{M}^{-1} \cdot \vec{E} = \vec{Y}$

$$(3.2)\ \mathrm{M} = \begin{bmatrix} -a_{11} & 0 & 0 & 0 & a_{15} & 0 & 0 \\ 0 & -a_{22} & 0 & 0 & 0 & a_{26} & 0 \\ 0 & 0 & -a_{33} & 0 & 0 & 0 & a_{37} \\ 0 & 0 & 0 & -a_{44} & 0 & 0 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & -a_{55} & 0 & 0 \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & 0 & -a_{66} & 0 \\ a_{61} & a_{73} & a_{73} & a_{74} & 0 & 0 & -a_{77} \end{bmatrix}$$

$$(3.3)\ \vec{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathrm{x}_{38} \\ \mathrm{x}_{48} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$(3.4)\ \vec{Y} = \begin{bmatrix} C' \\ I' \\ \mathrm{G}' \\ \mathrm{X} \\ H \\ F \\ T \end{bmatrix}$$

Гдје су: $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_i x_{ij}}$,, за i,j=1,2,...,7

Табела 2. – Табела распореда – Модел 2

	C'	I'	G'	X	Укупно	H	F	T	ε	Укупно
C'	x_{11}				Σ	x_{15}			x_{18}	Σ
I'		x_{22}			Σ		x_{26}		x_{28}	Σ
G'			x_{33}		Σ			x_{37}	x_{38}	Σ
X				x_{44}	Σ				x_{48}	Σ
Укупно	Σ	Σ	Σ	Σ	**Y**	Σ	Σ	Σ	Σ	**Y**
H	x_{51}	x_{52}	x_{53}	x_{54}	Σ	x_{55}				Σ
F	x_{61}	x_{62}	x_{63}	x_{64}	Σ		x_{66}			Σ
T	x_{71}	x_{72}	x_{73}	x_{74}	Σ			x_{77}		Σ
Укупно	Σ	Σ	Σ	Σ	**Y**	Σ	Σ	Σ	Σ	**Y**

Извор: Аутор

У табели 3.2. приказана је друга варијанта модела у којој се појављују још двије егзогене величине: x_{18} и x_{28}. Ове величине представљају егзогени дио потрошње домаћинстава. Овом модификацијом се смањују величине x_{15} и x_{26}, еквивалентно додавањем егзогених величина у датом реду. Облик матрице (M) се не мијења с тим да долази до смањења вриједности елемената a_{15} и a_{26}. Вектор колона ($\vec{Y}$) се не мијења у односу на претходну верзију модела, с тим да долази до промјене код вектор колоне ($\vec{E}$), тако да сада има сљедећи облик:

$$(3.5)\quad \vec{E} = \begin{bmatrix} x_{18} \\ x_{28} \\ x_{38} \\ x_{48} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

4.2. Могућности примјене модела

Овај модел пружа могућност да се тражи нова равнотежа, уколико се неки од елемената једначине (3.1) промијене. То се може десити било каквом измјеном садржаја табеле (3.2) која представља својеврстан пандан Леонтијевљевој инпут – аутпут табели. Модел се може користити на сљедеће начине: за израчунавање ефекта промјене износа потрошње производа произведених у резидентној земљи од стране домаћинстава на компоненте бруто домаћег производа, за израчунавање ефекта промјене износа потрошње фирме (инвестиција) у земљи, за израчунавање ефекта промјене политике буџетског дефицита (фискална политика) на компоненте БДП-а. У овом раду нарочито нам је интересантна прва примјена овог модела, и то у дијелу који се односи на супституцију куповине увозних производа, од стране домаћинстава, домаћим производима.

4.3. Израчунавање ефеката повећања куповине домаћих производа од стране сектора домаћинстава

Претходно представљени модел описује стање равнотеже у једној привреди, те у складу с тим спада у групу статичких модела. Овај модел се може користити, како би се утврдили ефекти (на бруто домаћи производ и његове компоненте) повећања куповине домаћих производа (умјесто увозних) од стране сектора домаћинстава. Ефекти се могу израчунати тако што се конструише модел који описује стање нове равнотеже засноване на повећању потрошње домаћинстава у земљи, те рачунајући разлику између величина из новог рјешења и величина из претходног рјешења.

$$(3.6)\quad \mathrm{M}^{-1} \cdot \vec{E}' = \vec{Y}'$$

Гдје се вектор колона $\vec{E}'$ добија тако што се елемент x_{18} вектор колоне $\vec{E}$ увећа за егзогено повећање домаће потрошње сектора домаћинстава. Тако се ефекат промјене бруто домаћег производа може добити по сљедећој формули:

$$(3.7)\quad \Delta Y = Y' - Y$$

Мјерење ефекта на остале компоненте бруто домаћег производа се може мјерити тако што се вриједност компоненте у новом рјешењу увећа за вриједност компоненте у полазном ријешењу .Ефекти

повећања потрошње домаћинстава у земљи се могу посматрати на укупном нивоу, као и посматрајући вриједност мултипликатора. Вриједност мултипликатора се добије када се елемент x_{18} увећа за 1, док се укупан ефекат добије када се елемент x_{18} увећа за укупно повећање потрошње домаћинстава у земљи.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу претпостављеног повећања куповине домаћих производа, насупрот увозних, биће израчунати ефекти на бруто домаћи производ Републике Српске.
Математички модел је конструисан на бази података Републичког завода за статистику Републике Српске и процјена аутора.
Потрошња становништва у земљи добијена је као пропорција укупне потрошње, у проценту од 20%. Не постоје званични подаци колико се потрошње становништва односи на домаће производе, због тога је као кључ за ову расподјелу кориштена вриједност залиха домаћих производа у маркетима, при чему је овај податак добијен испитивањем руководилаца маркета у Бањој Луци. Потрошња владе у земљи је добијена као пропорција укупне владине потрошње и то као 90% укупне потрошње владе. Потрошња предузећа у земљи добијена је као резидуал. С обзиром да не постоје званични подаци о томе колико дохотка припада домаћинствима од потрошње домаћинстава, а колико од тог дохотка припада предузећима и држави, због тога је на ове субјекте расподијељен просјечан износ. Према првој варијанти, која подразумијева да су потрошња домаћинстава и потрошња привреде у потпуности ендогено одређене, вриједност мултипликатора износи 2,14. С обзиром да су потрошња домаћинства и привреде у потпуности ендогено посматране, ово је уједно и горња граница вриједности мултипликатора. Поређењем вриједности извоза увећаног за егзогени износ буџетског дефицита и бруто домаћег производа може се уочити да је бруто домаћи производ, управо за 2,14 пута већи од збира ових двију величина. Према другој варијанти модела претпостављена је егзогена вриједност потрошње домаћинстава и привреде, у земљи, у износима од милијардку конвертибилних марака, на рачун еквивалентног смањења варијабилних компоненти. Према таквом сценарију мултипликатор домаће потрошње износио би 1,44. Вриједност мултипликатора је, поново, једнака односу између вриједности бруто домаћег производа и укупног збира егзогених компоненти, што потврђује претходно излагање. Након детаљнијег и дужег разматрања ове проблематике то постоје логично, јер веће учешће егзогене потрошње подразумијева мању еластичност тражње на повећање дохотка, што је праћено мањом вриједности мултипликатора. Ради илустрације ефеката биће претпостављено иницијално повећање потрошње домаћинстава у земљи за 106 милиона конвертибилних марака.
Ефекти су већи по варијанти 1, што је и логично с обзиром да је ту већи износ ендогених елемената у моделу. Ефекти се огледају у: повећању потрошње домаћинстава у земљи у интервалу од 112 до 140 милиона КМ, повећању потрошње предузећа између 11 и 42 милиона КМ, повећању потрошње владе између 31 и 47 милиона КМ. Доходак домаћинстава би се повећао између 38 и 57 милиона КМ, доходак фирми би се повећао између 38 и 57 милиона КМ. Тако би влада остварила од 31,4 до 46,7 што је у распону од једне половине до три четвртине укупних субвенција владе у пољопривреду. Резултати показују да би овај пројекат био врло позитиван за Републику Српску, с обзиром да би довео до повећања раста бруто домаћег производа у распону од 1,7 до 2,6 процентних поена.

ЗАКЉУЧАК

За оцјену ефеката повећања куповине домаћих производа кориштен је математички модел који описује функционисање привреде Републике Српске. Модел је развијен као модификација инпут – аутпут табеле и матрице друштвеног рачуноводства и прилагођен подацима које је могуће прикупити за Републику Српску. Модел је могуће и детаљније разрађивати у складу са доступним подацима. Иницијално повећање потрошње домаћих производа (умјесто увозних) од 106 милиона (што би било резултат промотивне кампање), при томе увећавајући бруто домаћи производ у распону од 1,7 до 2,6%, чиме се потврђује хипотеза да би повећање куповине домаћих производа у Републици Српској довело до значајног привредног раста. Приликом анализе ефеката куповине домаћих производа неопходно је имати на уму ограничења која произилазе из употребе објашњеног математичког модела. Као и сваки математички модел са линеарним релацијама, модел претпоставља постојање линеарне везе између варијабли у моделу. Такође, модел је заснован на просјечним коефицијентима такозване склоности ка потрошњи, увозу итд, тако да одражава просјечно функционисање привреде, што се дјелимично може разликовати у односу на стварне, маргиналне ефекте одређене мјере. Међутим, математичким и статистичким методама никада није могуће доћи до поузданости процјене са 100% сигурношћу, али је

задовољавајућа и мања поузданост уколико се до процјене долази са релативно малим трошковима. Претходно наведено оправдава употребу представљеног модела као инструмента за макроекономско моделирање и предвиђање. Представљени модел се може користити и у друге сврхе, како би се процијенили ефекти економске политике на дијелове привреде или привреду у цјелини. Приказани модел могуће је примјењивати и на мање (локалне) привреде или на регију или свијет. Потребан и довољан услов за то је постојање адекватних података.

Смјернице за будућа истраживања иду у правцу развијања метода и статистичких техника за прикупљање детаљнијих података који описују кретање новчаних токова између институционалних сектора у привреди. Тако прикупљени подаци би били најпоузданија документациона основа за формирање инпут – аутпут табела. На основу њих би се обезбиједило добијање поузданих аналитичких ефеката мјера економске политике на мање сегменте становништва (пензионере, запослене, запослене у образовању и сл.). Свакако, овдје је неопходно издати препоруку статистичким заводима да креирају детаљније разлагање бруто домаћег производа према потрошном и доходовном приступу, како би се поузданост процјена подигла на виши ниво.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bruton, H. J. “A Reconsideration of Import Substitution.” Journal of Economic Literature 36(1998):903–936.

[2] Burda, M., Wyplosz, C (2004) Macroeconomics (Third Edition), Oxford University Press, Oxford, USA;

[3] Deb Pal, B., Bandarlage, J.S. (2017) Value-added disaggregated social accounting matrix for the Indian economy of the year 2007–2008, Journal of Economic Structures, Pan-Pacific Association of Input-Output Studies (PAPAIOS);

[4] Duchin, F., Steenge, A (2007) Mathematical Models in Input – Output Economics, Rensselaer Polytechnic Institute, New York;

[5] Little, I. M. D. Economic Development: Theory, Policy, and International Relations. New York: Basic Books, 1982.

[6] Mankiw, G. (2003) Principles of Macroeconomics 3rd Edition, South-Western College Publishing, Cincinnati;

[7] Round, J. (2003) Social Accounting Matrix and SAM based Multipliers, Techniques for Evaluating the Poverty Impact of Economic Policies, World Bank and Oxford University Press, New York;

[8] Pred, A. The Spatial Dynamics of U.S. Urban-Industrial Growth, 1800-1914; Interpretive and Theoretical Essays. Regional Science Studies Series. Cambridge, MA: MIT Press, 1966. OCLC: 172911.

[9] Pyat, G., Round, J. (1985) Social Accountig Matrix – A Basis for Planning, World Bank Symposium, World Bank, Washington;

[10] Shatong, L.,Ying, G., Jianwu, H. (2004) SAM-based Multiplier Analysis for China’s Economy, Development Research Center, Marina di Ascea-Velia, Italy;

[11] Станојевић, Р. (1998) Међусекторски модели, Економски институт, Београд;

[12] Wasilly, L. (1975) Structure of the World Economy, Nobel Memorial Lecture, Harvard University, Massachusetts, USA.;

[13] Watson, P.; Beleiciks, N. (2009) Small Community Level Social Accounting Matrices and their Application to Determining Marine Resource Dependency, Marine Resource Economics, Volume 24, USA.

[14] Watson, P.; Cooke, S.; Kay, D.; Alward, G.; Morales, A. (2017), Journal of Agricultural and Resource Economics 42(2):180–194, Western Agricultural Economics Association.

[15] Агенција за Статистику Босне и Херцеговине (2013), Попис становништва 2013 – прелиминарни – www.bhas.ba (25.06.2016.)

[16] Marxist.org - https://www.marxists.org/reference/subject/economics/quesnay/index.htm (22.06.2016.)

[17] Републички завод за статистку Републике Српске: Статистички годишњак, 2015. - www.rzs.rs.ba/front/article/1778 (26.06.2016.)

2017

ELEKTRONSKO POSLOVANJE

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ANALIZA PRISUTNOSTI I POVEZANOSTI FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU NA DRUŠTVENOJ MREŽI FACEBOOK

PRESENCE AND CONNECTION ANALYSIS OF THE FACULTY OF UNIVERSITY IN BELGRADE ON SOCIAL NETWORK FACEBOOK

MILOŠ SPASOJEVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Jove Ilića 154, spasojevic89@gmail.com

Rezime: *Društvene mreže su u protekloj deceniji doživele veliku ekspanziju. Sada već milijarde ljudi svakodnevno koriste društvene mreže u ostvarijavnju međusobne interakcije i komunikacije. Najpopularnija društvena mreža na svetu je facebook. Po svojoj prirodi ljudi teže ka ostvarivanju interakcije sa onima sa kojima imaju slična ili ista interesovanja. Internet zajednice postaju fenomen društvenih mreža. Jedan od tipova zajednica su akademske zajednice, a u njih spadaju i stranice fakulteta. U ovom radu je sprovedeno istraživanje o prisutnosti fakuteta Univerziteta u Beogradu na društvenoj mreži facebook kao i njihovoj povezanosti. Cilj istraživanja je otkrivanje stepena prisutnosti fakulteta na društvenim mrežama i da li oni formiraju mreže međusobne povezanosti. Rezultati istraživanja pokazuju koliko je fakulteta prisutno na društvenoj mrež, koliko je međusobno povezano, koliko fakulteta formira sopstvenu mrežu i koliko fakulteta pripada mreži Univerziteta u Beogradu.*

Ključne reči: *Društvene mreže, Univerzitet u Beogradu, facebook, analiza društvenih mreža.*

Abstract: *Social networks in the past decade have experienced a great expansion. Now, billions of people use social networks on a daily basis to interact and communicate with each other. The most popular social network in the world is facebook. By their nature, people tend to interact with those with similar or identical interests. Internet communities become a phenomenon of social networks. One of the types of communities is the academic community, which includes pages of the faculty. In this paper, a research was conducted on the presence of faculty of the University of Belgrade on the social network facebook and their connection. The aim of the research is to determine the degree of presence of faculties on social networks and whether they in some way form networks of interconnectedness. The results of the research show how many faculties are present on the social network, how interconnected they are, how many faculties form their own network and how many faculties belong to the network of the University of Belgrade.*

Keywords: *Social network, University of Belgrade, facebook, social network analysis.*

1. UVOD

U protekloj deceniji društvene mreže su doživele veliku ekspanziju. Posebno širenje je doživela društvena mreža Facebook koja je postala najpopularnija društvena mreža u svetu (Janos Bıro, Laszlo Gulyas, and George Kampis 2016). Mrežu Facebook svakog meseca koristi veliki broj ljudi koji međusobno ostvaruju interakciju. Ostvarivanje međusobne interakcije dovodi do stvaranja zajednica na društvenoj mreži u kojima učestvuju osobe istih ili sličnih interesovanja. Društvene mreže su postale dominantan način ostvarivanja interakcije u svim tipovima socijalnih zajednica. (Androniki Sapountzi, Kostas E. Psannis 2016) U stvaranju i razvijanju ovih zajednica učestvuje dve milijarde osoba na mesečnom nivou (Facebook newsroom 2017). Ove zajednice imaju različite ciljeve, od brže komunikacije među mlađom populacijom, do održavanja socijalne povezanosti kada se govori o starijoj populaciji (Tara J. Sinclair, Rachel Grieve 2016).

Akademska zajednica je jedna od tipova zajednica koje su aktivne na ovoj društvenoj mreži. Univerziteti i fakulteti su počeli da ostvaruju kontakt sa studentima preko društvenih mreža, hvatajući korak sa trendovima. Univerziteti u Srbiji u poslednjih nekoliko godina rade na razvijanju profila stranica Univerziteta i fakulteta kako bi objavljivali informacije od značaja za studente i širu javnost. Univerzitet u Beogradu pratio je ovu praksu pa pokreće svoju stranicu 2010 godine i na taj način stupa u kontakt sa javnošću preko društvene mreže.

Univerzitet u Beogradu u svom sastavu ima 31 fakultet. Fakulteti su organizovani u četiri grupacije i to: društveno-humanističkih nauka, medicinskih nauka, prirodno–matematičkih nauka i tehničko-tehnoloških nauka. Osim na internet stranicama fakulteta informacije vezane za studije objavljuju se i na stranicama na društvenoj mreži facebook. Fakulteti samostalno, preko udruženja studenata ili na neki drugi način administriraju stranice na društvenoj mreži.

2. PRISUTNOST FAKULTETA NA DRUŠTVENIM MREŽAMA

Istraživanje koje je sprovedeno za potrebe pisanja ovog rada je imalo za cilj da prikaže prisutnost fakulteta koji pripadaju Univerzitetu u Beogradu na facebook-u tj. koliko fakulteta ima aktivne stranice na kojima se objavljuju vesti vezane za studije. Početna hipoteza za ovo istraživanje je da većina fakulteta ima aktivne stranice na društvenoj mreži facebook. Kao uslov nije postavljeno to da su fakulteti sami odgovorni za upravljanje stranicom, s obzirom na to da postoje stranice za čije upravljanje su odgovorne studentske organizacije koje funkcionišu u okviru fakulteta. Uslovi da je stranica određenog fakulteta aktivna su: da nedvosmisleno svojim nazivom ukazuje na to koji fakultet predstavlja, da ima minimum hiljadu članova i da je na svom objavnom delu imala bar jednu vest vezanu za studije u 2017. godini.

Istraživanjem na mreži facebook došlo se do sledećih podataka:

Tabela 1: Prisutnost fakulteta Univerziteta u Beogradu na društvenoj mreži facebook

Fakultet	Naziv stranice	Broj članova
	Fakulteti društveno-humanističkih nauka	
Ekonomski fakultet	Ekonomski fakultet u Beogradu	*16.165*
Pravni fakultet	PRAVNI FAKULTET U BEOGRADU	*9.578*
Pravoslavni-bogoslovski fakultet Univerziteta u beogradu	Православни богословски факултет Универзитета у Београду*	*3.134*
Učiteljski fakultet	УЧИТЕЉСКИ ФАКУЛТЕТ Универзитета у Београду*	5.425
Fakultet bezbednosti	Nema aktivnu stranicu	/
Fakultet za specijalnu edukaciju i rehabilitaciju	Nema aktivnu stranicu	/
Fakultet političkih nauka	Fakultet političkih nauka - Univerzitet u Beogradu	8.183
Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja	Nema aktivnu stranicu	/
Filozofski fakultet	Nema aktivnu stranicu	/
Filološki fakultet	Filološki Fakultet	2.392
	Fakulteti prirodno-matematičkih nauka	
Biološki fakultet	Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu	1.929
Geografski fakultet	Географски факултет*	1.789
Matematički fakultet	Matematički Fakultet	3.267
Fakultet za fizičku hemiju	Nema aktivnu stranicu	/
Fizički fakultet	Fizicki fakultet Univerzitet u Beogradu	1.125
Hemijski fakultet	Nema aktivnu stranicu	/
	Fakulteti medicinskih nauka	
Medicinski fakultet	Medicinski fakultet - Univerzitet u Beogradu	3.030
Stomatološki fakultet	Stomatološki fakultet Univerziteta u Beogradu	2.127
Fakutet veterinarske medicine	Fakultet veterinarske medicine - Univerziteta u Beogradu	1.558
Farmaceutski fakultet	Univerzitet u Beogradu-Farmaceutski fakultet	2.549
	Fakulteti tehničko-tehnoloških nauka	
Arhitektonski fakultet	University of Belgrade - Faculty of Architecture	4.206
Građevinski fakultet	Nema aktivnu stranicu	/
Elektrotehnički fakultet	ETF Beograd/ЕТФ Београд	1.895
Mašinski fakultet	Машински факултет у Београду*	1.730

Poljoprivredni fakultet	POLJOPRIVREDNI FAKULTET ZEMUN	4.306
Rudarsko-geološki fakultet	University of Belgrade Faculty of Mining and Geology	2.431
Saobraćajni fakultet	Saobraćajni fakultet	1.405
Tehnički fakultet u Boru	Tehnički fakultet u Boru	1.656
Tehnološko-metalurški fakultet	Nema aktivnu stranicu	/
Fakultet organizacionih nauka	Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka	7.863
Šumarski fakultet	Nema aktivnu stranicu	/
Ukupno fakulteta: 31	***Broj aktivnih stranica:22***	***Prosek članova*:3.988**

(*) Nazivi stranica su na ćiriličnom pismu

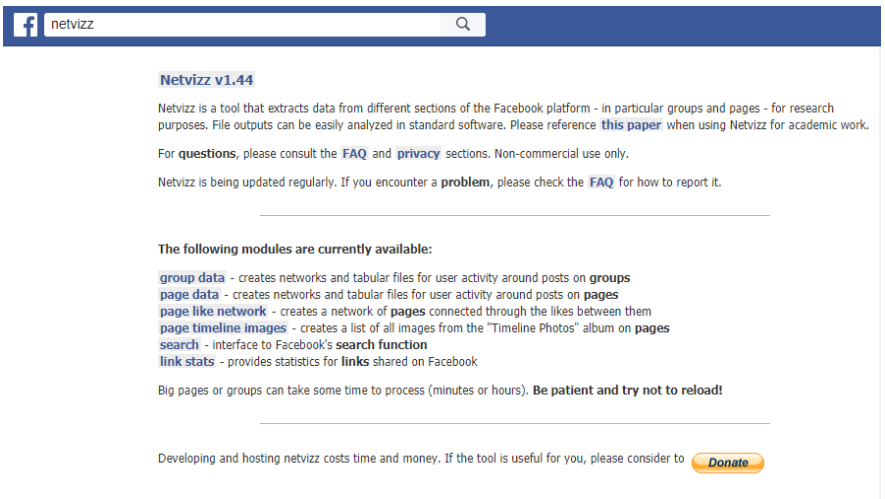
Iz tabele se može videti da od 31 fakulteta Univerziteta u Beogradu, 22 fakulteta ima aktivnu stranicu na facebook-u. Samim tim 9 fakulteta nema aktivnu stranicu ili stranice koje postoje ne zadovoljavaju zadate kriterijume za aktivne stranice koji su definisani pre sprovođenja istraživanja.

Rezultatima ovog istraživanja možemo reći da je hipoteza da većina fakulteta, Univerziteta u Beogradu ima aktivnu stranicu na mreži facebbok, potvrđena i da to daje materijala za sprovođenje analize međusobne povezanosti stranica fakulteta i povezanosti sa stranicom Univerziteta u Beogradu.

3. POVEZANOST FAKULTETA NA DRUŠTVENOJ MREŽI

Analiza povezanosti fakulteta na društvenim mrežama pokazuje koliko su fakulteti povezani u okviru jednog Univerziteta i da li neki fakulteti izgrađuju sopstvene mreže oko svojih stranica na. U svrhu analize postavljene su dve hipoteze. Prva hipoteza je da stranice fakulteta obrazuju čvorište u stranici Univerziteta u Beogradu. Cilj postavljanja ove hipoteze jeste da se analizira, da li fakulteti prepoznaju na društvenim mrežama Univerzitet u Beogradu kao svoju krovnu instituciju. Druga postavljena hipoteza je da stranice koje imaju veći broj članova od proseka, formiraju sekundarna čvorišta oko njih. Provera hipoteze će pokazati da li postoji veza između broja članova stranice i povezanosti sa drugim stranicama na društvenoj mreži. Ovaj tip povezanosti se može pratiti i kod civilnog sektora. Analiza povezanosti civilnog sektora je pokazala da su organizacije civilnog sektora na sličan način povezane sa institucijama koje su njihovi donatori i pokrovitelji projekata koje realizuju (David J. Marshall, Lynn Staeheli 2015)

Analiza je rađena tako što se prvo pristupilo prikupljanju podataka sa dostupnih stranica fakulteta. Za prikupljanje podataka korišćena je aplikacija netvizz. Aplikacija netvizz je razvijena 2009. godine u cilju analiziranja društvenih mreža. Nakon što je aplikacija dobro prihvaćena u praksi nastale su naprednije verzije same aplikacije (Bernhard Rieder 2013). Aplikaciji se jednostavno pristupa preko facebook platforme. Uslov za pokretanje aplikacije je napravljen facebook profil sa koga će se pristupiti aplikaciji.



Slika 1: Netvizz aplikacija

Za dobijanje podataka korišćen je modul "page like network". Podaci koji se dobijaju korišćenjem ovog modula su povezanost stranice sa drugim stranicama na mreži facebook. Podaci koji se na ovaj način

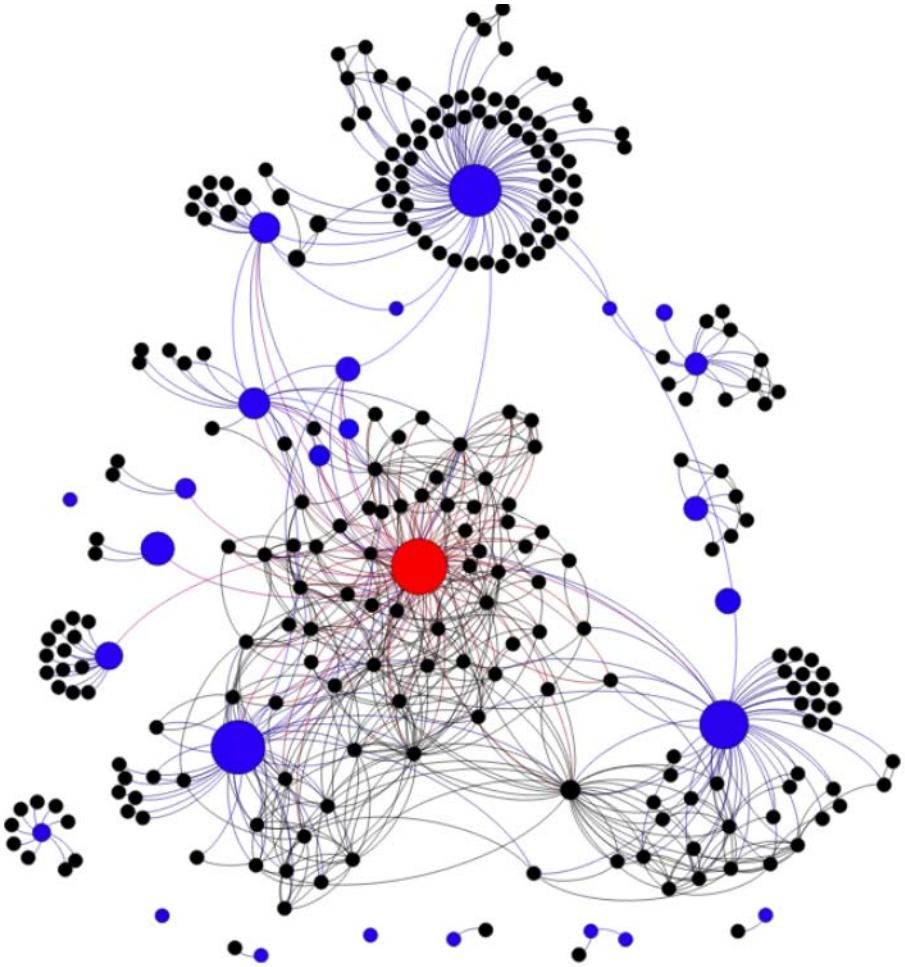
prikupljaju spadaju u javno dostupne podatke, s obzirom na to da je moguće videti sa kojim je sve stranicama povezana stranica sa koje preuzimamo podatke.

Nakon dobijanja podataka potrebno je vizualizovati ih u grafik koji će prikazati povezanost između stranica. Program za analizu podataka koji se za potrebe ovog rada koristi je Gephi koji na osnovu prikupljenih podataka može generisati grafik. Programi netvizz i Gephi se koriste i kod analize drugih tipova akademskih zajednica kao što su zajednice okupljene oko naučnih konferencija (Carlo Giglio, Roberto Palmieri 2016).

Gephi je program za analizu mreža. Može analizirati, vizualizovati, filtrirati i upravljati svim vrstama mreža. Program omogućava izradu grafika koji će vizuelno prikazati povezanost u mreži, a u slučaju sprovedenog istraživanja, prikazati povezanost fakulteta na društvenoj mreži facebook (Mathieu Bastian, Sebastien Heymann, Mathieu Jacomy 2009).

Grafik koji prikazuje povezanost stranica fakulteta i Univerziteta prikatan je na slici 2. Na grafiku prikazane su stranice u obliku čvorova i konekcija tj. vezeaizmeđu stranica u obliku veza-linija. Na grafiku je prikazana i povezanost između pojedinačnih čvorova koji ne predstavljaju stranice fakulteta već druge stranice sa kojima su povezane. Stranica Univerziteta u Beogradu na grafiku je prikazana crvenom bojom, dok su stranice fakulteta prikazane plavom bojom. Na slici se jasno izdvaja kao centralno čvorište stranica Univerziteta u Beogradu ka kojem gravitiraju ostale stranice. Nekoliko stranica fakulteta se izdvojilo kao jedinstvena čvorišta sa povezanim stranicama. Ukoliko se analiziraju pojedinačna čvorišta može se videti da ih formiraju stranice sa većim brojem članova od proseka. Stranice koje formiraju sekundarna čvorišta su stranice Ekonomskog fakulteta (16.165), Fakulteta organizacionih nauka (7.863), Poljoprivredni fakultet (4.306), Arhitektonski fakultet (4.206), Fakultet političkih nauka (8.183).

Pravni fakultet iako je povezan sa Univerzitetom u Beogradu i sa velikim brojem članova (9.578) ne formira sopstvenu mrežu. Ovo se može objasniti time da Pravni fakultet pohađa preko 8.000 studenata pa samim tim je više osoba zainteresovano da postanu članovi stranice.



Slika 2: Grafik povezanosti stranica fakultet sa stranicom Univerziteta u Beogradu

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize prisutnosti i povezanosti fakulteta Univerziteta u Beogradu može se zaključiti da je većina fakulteta prisutna i povezana na društvenoj mreži facebook, dok se takođe razvija i povezanost u čvorištu sa Univerzitetom u Beogradu u centru. Postoji prostor za poboljšanje prisutnosti, a primetan je i jedan broj fakulteta koji nisu u dovoljnoj meri povezani u akademskoj zajednici na društvenim mrežama. Analiza je pokazala da fakulteti koji imaju aktivanu prisutnost na društvenim mrežama formiraju sopstvene mreže koje im pomažu da imaju više članova i da budu vidljiviji većem broju korisnika. Trendovi u savremenom obrazovanju podrazumevaju prisutnost na društvenim mrežama i uključivanje tog načina komunikacije sa akademskom zajednicom. Rezultati dobijeni u ovom radu mogu predstavljati dobru osnovu za odlučivanje odgovornih na fakultetima da više ulože u ovaj način predstavljanja i komunikacije sa svojim ciljnim grupama.

LITERATURA

[1] Janos Bıro, Laszlo Gulyas, and George Kampis (2016). Political parties on Facebook. Procedia Computer Science 101. 107 – 114.

[2] Bernhard Rieder (2013). Studying Facebook via Data Extraction: The Netvizz Application. Proceedings of the 5th Annual ACM Web Science Conference. 346-355.

[3] Carlo Giglio, Roberto Palmieri (2017). A comparison of intercultural student communities in Online Social Networks, Procedia - Social and Behavioral Sciences 237. 792 – 797.

[4] Facebook news, https://newsroom.fb.com/news/2017/06/two-billion-people-coming-together-on-facebook/ (2017.)

[5] David J. Marshall, Lynn Staeheli (2015). Mapping civil society with social network analysis: Methodological possibilities and limitations. Geoforum 61. 56–66

[6] Tara J. Sinclair, Rachel Grieve (2016), Facebook as a source of social connectedness in older adults. Computers in Human Behavior 66. 363-369.

[7] Mathieu Bastian, Sebastien Heymann, Mathieu Jacomy (2009). Gephi : An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. 361-362.

[8] Androniki Sapountzi, Kostas E. Psannis (2016). Social networking data analysis tools & challenges. Future Generation Computer Systems.

2017

GEOINFORMACIONI SISTEMI

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ФОРМАТИ ЗАПИСА ДИГИТАЛНИХ СНИМАКА

FORMATS OF DIGITAL IMAGES

МИОДРАГ РЕГОДИЋ[1], ЉУБОМИР ГИГОВИЋ[1], СИНИША ДРОБЊАК[2], РАЈКА МИЈАТОВИЋ[3]

[1]Универзитет одбране, Војна академија, mregodic62@gmail.com, gigoviclj@gmail.com
[2]Војногеографски институт, sdrobnjak81@gmail.com
[3]Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Бања Лука, mijatovicrajka@gmail.com

---

Резиме: *Данас постоје многи формати данас записа дигиталних снимака. Неки формати пружају бољи квалитет слике док други омогућавају смањење меморијског простора који слика заузима на диску. Због тога је за сваку примену потребно пронаћи формат који задовољава баланс између квалитета садржаја и величине датотеке. Формати записа дигиталних податакасе разликују према степену и квалитету извршене компресије података. У раду су представљени формати записа дигиталних података који врше компресију података са губицима или без губитака квалитета података. Практични пример записа и компресије дигиталне слике, у разним форматима записа, показује врло различит степен и квалитет компресије слике.*

Кључне речи: *Дигитални снимак, Формати записа, Компресија дигиталних података.*

Abstract: *Nowdays there are many formats of digital images. Some formats offer better quality of images while other cut the memory which images take on disc. Because of that it is essential,for every usage, to find format which provides best balance between quality of content and size of the file. Formats of digital data differ according to quality and level of compression of data. This project presents formats of digital data that are compressed with and without any loss of quality of data. Everyday example of images and compression of images, in different formats, shows a big variety of levels and qualities of compression.*

Keywords: *Digital image, Formats, Compression of digital data.*

1. УВОД

Снимак је слика, фотографија или било који други облик који дводимензионално (растерски) приказује објекте или површине (сцене). Информације садржане у снимцима приказане су у сивим тоновима или бојама (природним или псеудобојама). Дигитални снимак (сцена) садржи огроман број података и информација. Делови дигиталног снимка зову се пиксели, а број који показује ниво сивила пиксела зове се дигитални број и он означава вредност пиксела (Gao 2009).

Сваки снимак се може сачувати у одређеном типу формата записа и компримовати из једног типа у други. Компресија је сабијање садржаја неке датотеке тако да она заузме мање меморијског простора. То се ради помоћу сложеног математичког алгоритма који омогућава декомпримовање датотеке у изворни облик. За чување слика на рачунару користи се много различитих начина претварања слике у бинарне бројеве, па се каже да постоји много формата за запис слика. Различити формати могу користити или не користити сажимање (компресију) података и могу бити са губитком или без губитка података. Најпознатији формати за чување слике су: JPEG, BMP, PNG, GIF i TIFF, али се највише користе JPEG i GIF.

Bitmap графички програм је рачунарски програм који кориснику омогућава да слика или уређује слику (најчешће фотографију) помоћу рачунара и монитора, те да их сними у неки од наведених формата. Bitmap слика је слика која приликом увећавања губи свој квалитет, тј. долази до пикселизације.

Програми за обраду Bitmap слика су многобројни, а најзаступљенији су Adobe Photoshop, Adobe Lightroom, Corel Photopaint, у крајњем случају MS Paint, као и многи други.

2. КОМПРЕСИЈА СЛИКЕ

У данашње време све су већи захтеви за преносом што веће количине података. То се покушава реализовати хардвердким решењима, која ипак помало почињу досезати своје реалне границе (ограничења која намећу саме технолошке могућности), па се прибегава софтверским решењима, која настоје слику сажети на што мању величину, да би се могло пренети више слика у јединици времена, преко истог преносног система. Брзи развој технологије омогућио је комерцијалну примену техника дигиталне обраде слике које су до скора биле резервисане за добро опремљене истраживачке лабораторије (Drobnjak *et al.* 2016).

У таквим применама, као што су видео конференције, видео телефонија, мултимедијални системи, обрада и чување докумената, системи за пренос ТВ слике стандардне и високе резолуције, биомедицина и друге, важну улогу имају поступци за компресију слике. Поступци компресије слике су неопходни како би се смањило заузеће меморије или потребан капацитет телекомуникационих канала,пошто се ради о преносу или запису огромних количина података потребних за репрезентацију слике (Марчета 2007).

За чување једне дигиталне монохромне слике резолуције 512x512 пиксела потребна је меморија од 256 КВ, док је за чување слике у боји исте резолуције потребно 768 КВ. За чување монохромне видео секвенце исте резолуције, са 25 слика/ секунди, потребно је 6,4MB/s, а за видео секвенцу у боји чак 19,2 MB/s. Са повећањем резолуције заузеће меморијског простора се пропорцијално повећава (http://dsp.etfbl.net/multimediji/).

С обзиром на велику потребу за компшресијом слике, поступци за компресију се интензивно развијају посљедњих двадесетак година и истраживања у овој области су врло интензивна и данас. Развијене су методе којима је могуће извршити компресију мирне слике чак и до 50 пута без знатног утицаја на квалитет репродуковане слике. У случају секвенце слика степен компресије може бити и већи. Компресијом података (слика) могу се постићи изврсни резултати, нпр. слика димензија 1024 пиксела x 1024 пиксела x 24 бита, без компресије заузима око 3MB меморијског простора и потребно је око 7 минута за њен пренос користећи брзину 64Kbit/s ISDN линију, док је за слику компресовану у односу 10:1 потребно 300 КВ меморијског простора, а за њен пренос је потребно око 30 секунди. Пренос великих фајлова представља уско грло дистрибуираних система. Код компресије важни су преносивост и перформанце. Данашња решења за компресију су релативно преносива (између различитих платформи) будући да увелико задовољававају међународне стандарде (ISO 19157, 2013).

Компресија дигиталних података, па према томе и слике, заснива се на различитим алгоритмима који користе:

- Просторну редундантност информација које садржи дигитална слика. Редундантност информација у слици постоји због знатне просторне корелације пиксела.
- Статистичка редундантност је повезана са расподелом интензитета пиксела слике и може се елиминисати коришћењем ентропијских техника. Елиминацијом статистичке редундантности постиже се компресија без губитака.
- У случају видео секвенци суседне слике у секвенци се мало разликују (осим у случају врло брзих покрета) па кажемо да поред просторне редундантности постоји и временска редундантност.
- Временска редундантност се отклања методама компензацијом покрета, чиме се постиже још већи степен компресије видео секвенци него мирних слика.

Технике компресије се могу подијелити у двије категорије:

- компресија без губитака (lossless compression)
- компресија са губицима (lossy compression)

Технике без губитака омогућавају перфектну реконструкцију оригиналне слике, док је код техника са губицима реконструисана слика слична оригиналу, али не и у потпуности једнака. Компресија без губитака се користи у оним случајевима када је неопходно сачувати оригиналну слику, да ли због немогућности њеног поновног снимања или важних информација које би, евентуално, могле бити изгубљене у поступку компресије (на пример, медицински снимци).

Технике са губицима омогућавају већи степен компресије и због тога се много више примењују. Ако је лако поновити процес снимања или се може толерисати известан степен губитка информација (видео телефонија, телевизија, мултимедијални системи, итд.) користе се поступци компресије са губицима.

2.1. Кодовање дужина низова

Уколико су интензитети пиксела слике представљени врло малим бројем нивоа, може се очекивати да извјестан број суседних пиксела у једној линији има исту вредност. Таква групу пиксела назива се низ. Компресија слике се може постићи ако се уместо појединачних пиксела кодује цела група. За такве слике је развијена метода кодовања дужина низова (engl. run-length coding - RLC).

Нека скуп {x(1), x(2),..., x(M)} представља пикселе који припадају истој линији слике. Нека се таква линија састоји од k сегмената, чије су дужине li а нивои сивога gi , 1 ≤i ≤k. Садржај линије слике се уместо појединачним вредностима пиксела може представити и паровима (gi ,li) , 1 ≤i ≤k:

{x(1), x(2),..., x(M)}→(g1,l1),(g2 ,l2),...,(gk ,lk)(3)

Алгоритам за кодовање:

1. На почетку кодна табела садржи све појединачне поднизове који се могу појавити на улазу, а префикс P је празан;
2. Z := следећи подниз из улазног низа;
3. Постоји ли P+Z у кодној табели?
   - Ако постоји, P := P+Z (P прошири Z-ом);
   - Ако не постоји,
     I У излазни низ пошаљи кодну реч која одговара P-у (позиција на којој је у кодној табели уписан P);
     II У кодну табелу додај P+Z;
     III Испразни P и у њега упиши само Z (P := Z);
4. Има ли још знакова у улазном низу?
   - Ако има, врати се на корак 2;
   - Ако нема:
     I у излазни низ пошаљи кодну реч која одговара P-у;
     II КРАЈ.

3. ФОРМАТИ ЗАПИСА ДИГИТАЛНИХ СНИМАКА

Познавајући формате записа сликовних датотека и гдје и када их употребити може се извући више из својих фотографија. Неки формати пружају бољи квалитет слике, док други омогућавају смањење меморијског простора који слика заузима на диску. Због тога је за сваку примјену потребно пронаћи формат који задовољава баланс између квалитета садржаја и величине датотеке (Ćirović *et al.* 2014).

Постоје многи формати и константно се појављују и нови. Важан концепт који разликује многе сликовне формате је то да ли је слика компресована или није. Компресовани формати генеришу значајно мање датотеке, а дијелимо их на основне две категорије: са губицима (енг. lossy) и без губитака (енг. lossless). Формати без губитака осигуравају комплетну информацију о слици, а резултирана датотека може бити чак и нешто већа. Формати са губицима осигуравају значајно мање датотеке тиме што селективно одбацују сликовне информације.

Неки од најпознатијих формата записа сликовних датотека су: JPEG (Joint hotographic Experts Group), RAW, TIFF (Tagged Image File Format), GIF (Graphic Interchange Format), PNG (Portable Network Graphics), EPS (Encapsulated Postscript), Bitmap (Windows Bitmap) и др. (Van Oort 2006).

4. ПРИМЕР КОМПРЕСИЈЕ И ЗАПИСА ДИГИТАЛНИХ СНИМАКА

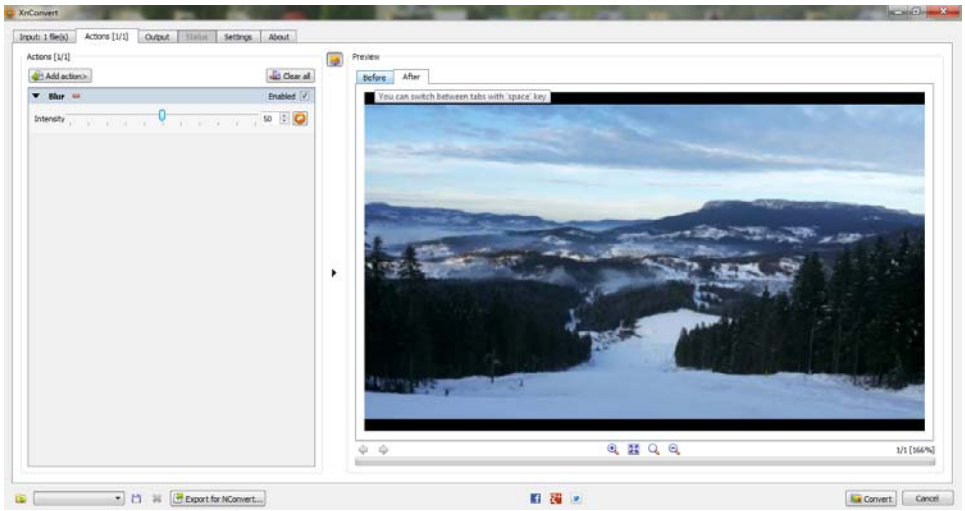
Слика 1: Оригинална слика „Јахорина“ у JPEG формату

У следећем примеру биће приказани различити видови компресије слике „Јахорина“, као и записи и чување компимоване слике у разним форматима.

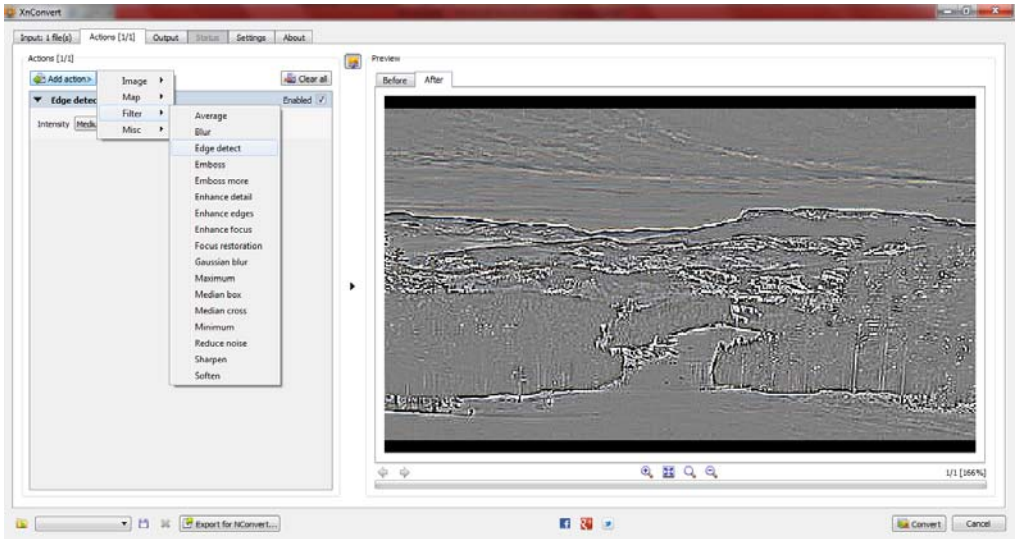
Табела 1:Приказ слике „Јахорина“ након компресије у различитим форматима записа

Тип формата записа	Компримована слика
JPEG Image (.jpg)	21,3 KB (21.827 bytes)
Bitmap Image (.bmp)	379 KB (388.854 bytes)
GIF Image (.gif)	73,2 KB (74.992 bytes
Adobe Acrobat Document (.pdf)	482 KB (494.030 bytes)
PNG Image (.png)	164 KB (168.492 bytes)
TIFF image (.tif)	380 KB (389.608 bytes)
JIF (.jif)	67,3 KB (68.977 bytes)
JPC (.jpc)	114 KB (117.629 bytes)
RAWRAW (.rawraw)	126 KB (129.632 bytes)
XPM (.xpm)	258 KB (264.537 bytes)
MIF File (.mif)	127 KB (130.462 bytes)
WRL File (.wrl)	1,14 MB (1.199.061 bytes)
KRO File (.kro)	379 KB (388.820 bytes)
CIN File (.cin)	381 KB (390.848 bytes)

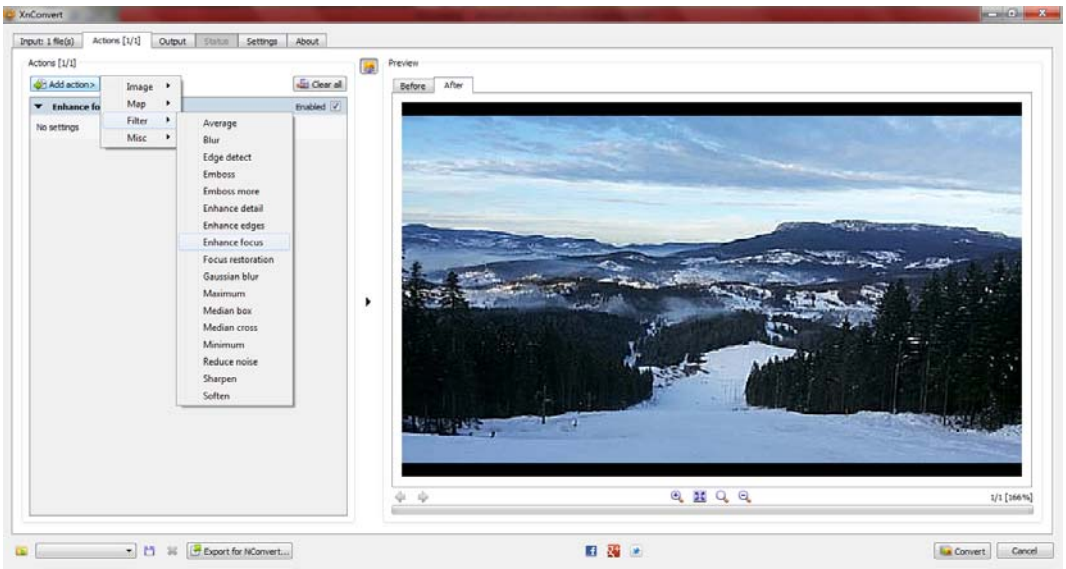
Програм у коме је рађена ова компресија је програм који је намењен и за друге операције, између осталог за различиту обраду снимака са различитим филтерима, мапама и сл.



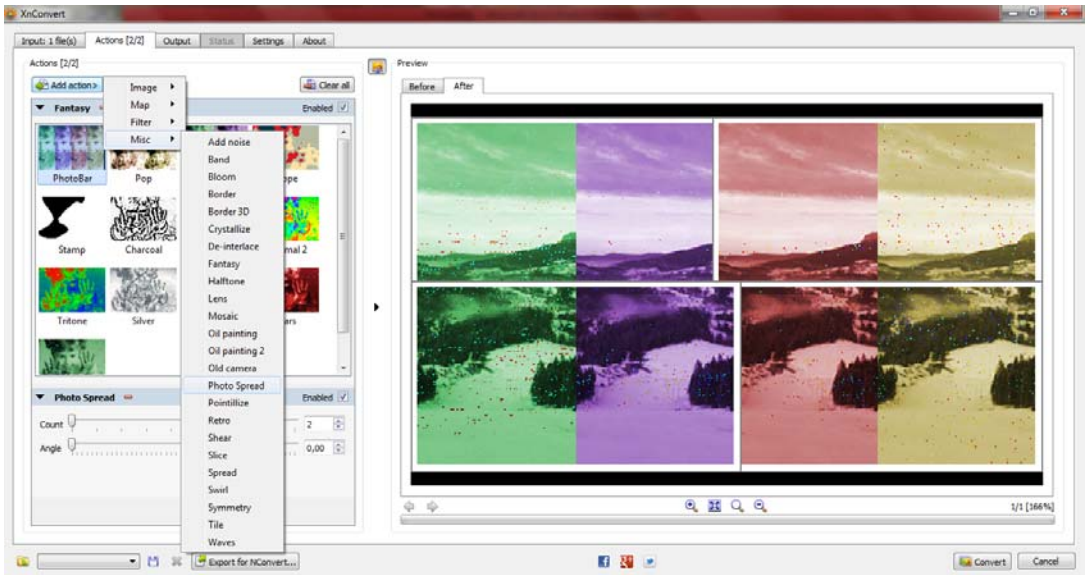
Слика 2:Резултат примене филтера Blur над сликом„Јахорина“



Слика 3:Резултат примене филтера Edge detect над сликом„Јахорина“



Слика 4:Резултат примене филтера Enhance focus над сликом„Јахорина“



Слика 5:Резултат примене осталих опција Photo Spread над сликом„Јахорина“

5. ЗАКЉУЧАК

Компресија или сажимање слике омогућава смањење величине датотеке приликом чувања (похрањивања). Дигитална слика се чува као и свака друга рачунарска датотека, али због велике количине података развијени су различити системи за смањивање датотеке приликом чувања. Такво смањивање датотеке назива се компресија или сажимање. Приликом компресије не мијења се број пиксела који граде слику, само се мијења начин на који се слика припрема за чување. Неки од тих процеса не утичу на квалитет слике, а неки утичу. Слика се дакле може компресовати без губитака и уз губитке. То првенствено зависи о формату слике, тако се TIFF формат може компресовати без губитака, док се JPEG формат компресовати уз губитке. Ово су уједно уз RAW датотеке једини формати у дигиталној фотографији које генерише дигитални фото апарат.

У практичном дијелу имају три примјера кроз које су пређени основни типови формати записа. Снимак „Јахорина“ компримован је у четрнаест типова формата записа гдје је за сваки од тих формата приказан и меморијски обим. Сваки од тих формата има своје предности и недостатке који се на сликама могу видјети. JPEG поред тога што заузима најмање меморије (у овоме примјеру 21,3 KB), лак је за коришћење и ако не користимо неке профисионалне снимке губици у овоме формату се скоро и не примјете чак и ако до 10 пута компримујемо исти снимак. JPEG је намјењен за боље уочавање површина и облика неко варијација у боји и освјетљењу, за разлику од PNG-а који уз Tiff користи компресију без губитака и самим тим чува и бољу освјетљеност. На крају је над истим снимком извршена обрада са различитим филтерима.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gao, J.(2009). Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery, The University of Auckland.

[2] Drobnjak, S., Sekulović, D., Amović, M., Gigović, L., & Regodić, M. (2016). Central geospatial database analysis of the quality of road infrastructure data. Geodetski vestnik, 60(2), 269-284.

[3] ISO 19157 (2013). Geographic information — Data quality. International Standardization Organization, Geneva, ISO.

[4] Марчета, М.(2007). Фотограметрија и даљинска детекција, Београд.

[5] Ćirović, G., Regodić, M., Sekulović, D., Tadić, V., Gigović, Lj. (2014). Worldview-1 satellite image processing for topographic maps content update. Tehnički vjesnik 21(2), 333-339.

[6] Van Oort, P. (2006). Spatial data quality: From description to application. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

[7] http://dsp.etfbl.net/multimediji/07%20GI%20Kompresija%20slike.pdf

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ОЦЕНА ПОТПУНОСТИ ДИГИТАЛНЕ ТОПОГРАФСКЕ КАРТЕ РАЗМЕРЕ 1:25 000

COMPLETENESS EVALUATION OF DIGITAL TOPOGRAPHIC MAP AT SCALE 1:25000

СИНИША ДРОБЊАК[1], ЉУБОМИР ГИГОВИЋ[2], ДРАГОЉУБ СЕКУЛОВИЋ[2], НЕНАД ГАЉАК[2]

[1] Војногеографски институт, sdrobnjak81@gmail.com
[2] Универзитет одбране, Војна академија, gigoviclj@gmail.com

---

Резиме: *Потпуност представља елемент квалитета који описује однос између просторних објеката заступљених у скупу података и објеката који представљају апстракцију стварног света. Најчешће се дефинише као присуство или одсуство просторних података, њихових атрибута и релација. У раду се, због наведеног, описује оцена квалитета за елемент потпуност, дефинишу мере квалитета и укратко описује процедура оцене просторних података Дигиталне топографске карте у размери 1:25 000. На крају рада приказују се резултати оцене квалитета за елемент потпуност у виду квантитативних резултата оцене.*

Кључне речи: *Квалитет просторних података, Потпуност, Дигитална топографска карта.*

Abstract: *Completeness is an element of quality that describes the relationship between spatial objects represented in the data set and objects that represent an abstraction of the real world. The most commonly defined as the presence or absence of spatial data, their attributes and relationships. The paper, due to the mentioned above, describes the evaluation of the completeness as quality element, defined quality measures and briefly describes the evaluation procedure of spatial data of digital topographic maps at a scale 1:25000. At the end paper describes the results of the evaluation completeness as a quantitative assessment of quality results.*

Keywords: *Spatial data quality, Completeness, Digital topographic map*

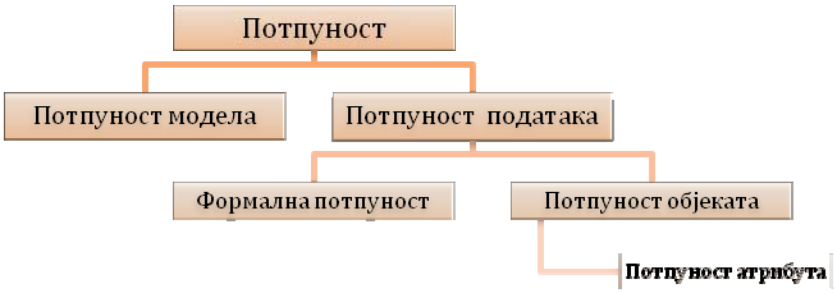
1. УВОД

Потпуност представља елемент квалитета који се дефинише као присуство или одсуство просторних података, њихових атрибута и релација (ISO, 2013). Због тога потпуност као елемент квалитета просторних података садржи два основна поделемента (Devillers & Jeansoulin, 2006):

- вишак (енг. commision) - подаци представљају вишак у скупу података;
- недостатак (енг. omission) - подаци који недостају скупу података

Потпуност описује да ли објекти у скупу података приказују сва појављивања ентитета, при чему се ентитет односи на стварни феномен, а објекат на његов дигитални приказ. Скуп података за неку примену може бити потпун или непотпун (Brassel, Bucher, Stephan & Vckovski, 1995). У том контексту, можемо разликовати две врсте потпуности (слика 1):

- потпуност података - грешке недостатка или вишка података, које су, у принципу, мерљиве и независне од примењеног модела оцењивања. Потпуност података можемо даље поделити на "формалну" потпуност (која се односи на структуру података - синтаксу, поштовање стандарда и формата који се користе, присуство обавезних метаподатака) и потпуност објеката, која зависи од атрибута и односа између објеката (подређени објекти). Потпуност објекта одређује да ли су и у ком степену све појаве ентитета стварно присутне у скупу података. Потпуност атрибута зависи од потпуности објекта изражавајући делимично изостављене информације о просторним подацима (Van Oort, 2006).
- потпуност модела - поређење између апстракције реалног света који одговара скупу података и скупа података који одговара апликацији, по могућности оцењивање у смислу подесности за употребу (да ли нам модел омогућава испуњавање захтева апликације).



Слика 1: Различите врсте потпуности (Brassel, Bucher, Stephan & Vckovski, 1995)

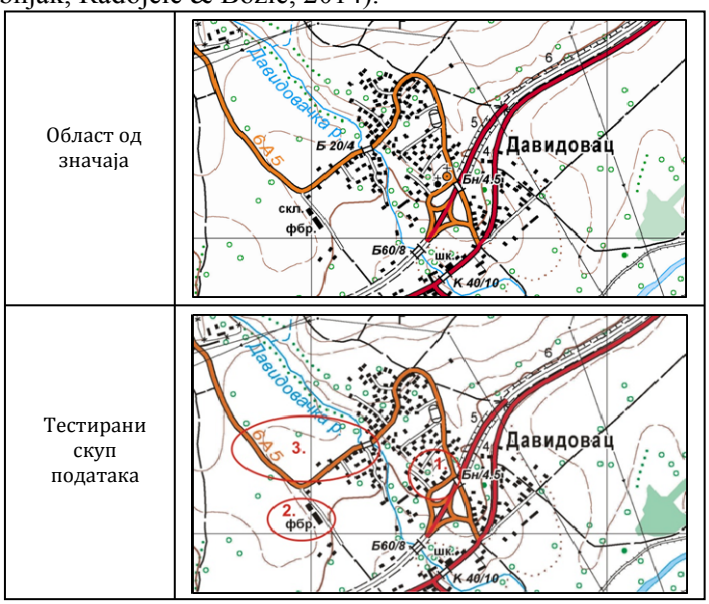
Укратко, потпуност прати недостатак (пропуст), као и вишак података које се налазе у просторној бази података углавном одговорајући на следећа питања (Van Oort, 2006):

- да ли је покривеност територије потпуна?
- да ли је број објеката у просторној бази података једнак броју објеката дефинисаних у моделу?
- да ли моделовани објекти имају тачан број атрибута и да ли су све вредности атрибута присутне?
- да ли су сви ентитети области од значаја представљени у моделу?

Једноставан начин за тачно мерење потпуности не постоји, а разлог је у чињеници да је потпуност везана за објекат с којим се упоређује, односно за апстракцију стварности.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ОЦЕНА ПОТПУНОСТИ ДИГИТАЛНЕ ТОПОГРАФСКЕ КАРТЕ У РАЗМЕРИ 1:25 000

Праћењем развоја стандарда у области прикупљања, организације, обраде, оцене квалитета и презентације просторних података у Војногеографског института (ВГИ), просторни подаци организовани су у Централној Геопросторној бази података (ГБП). Основни део садржаја Централне ГБП чине просторни подаци који дефинишу дигитални топографску карту размере 1:25 000 (ДТК25) из које се поступцима картографске генерализације изводе остале карте размерног низа топографских карата издања ВГИ (Drobnjak, Radojčić & Božić, 2014).



Слика 2: Примери потпуности података: 1. – недостатак и вишак просторних података, 2. – недостатак атрибута просторних података и 3. – недостатак релација просторних података

На слици 2. илустровани су одређени примери оцене потпуности тест примера Централне ГБП. Под тачком 1. приказан је недостатак и вишак просторних података. Недостатак представља одсуство цркве као тригонометријске тачке и капеле, док кућице у овом случају репрезентују вишак података. Под тачком 2. приказан је недостатак атрибута просторних података репрезентован не исписивањем атрибута објекта који представља складиште (скл.). Физичким моделом података дефинисано је аутоматско исписивање анотација висина или дубина (у метрима) насипа или усека уколико се они

налазе на деоници пута, ширине планума, односно ширина пута, као и тип подлоге путне инфраструктуре. За мостове исписују се подаци везани за материјал од којег је направљен мост, носивост моста (у тонама) и ширина моста (у метрима). Реализацијом Централне ГБП дефинисано је аутоматско исписивање анотација наведених података, када унесемо одређени текст у атрибутно поље које је дефинисано за аутоматски испис анотација. Наведена реализација представља релацију (везу) просторних података и кореспондентних анотација. Недостатак бројчано словне ознаке за врсту, носивост и ширину моста представља недостатак релације просторних података и то је илустровано под тачком 3, на слици 2 (Дробњак, 2016).

3. ВИШАК ПОДАТАКА

Мере квалитета при експерименталној оцени поделемента вишак података коришћене су мере: број сувишних објеката и број дуплираних објеката.

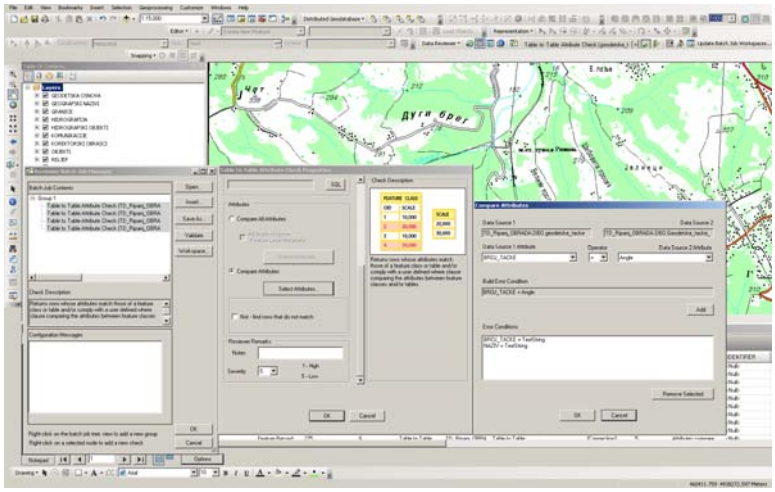
3.1 Мера квалитета: број сувишних објеката

Број сувишних објеката се дефинише као број објеката, њихових атрибута и релација у оквиру скупа података, а који не би требало да се налазе у скупу података. Да ли ће се одређени објекти, њихови атрибути и релације налазити у скупу података или не, најчешће је дефинисано спецификацијом производа. Због тога ову меру квалитета можемо дефинисати као број сувишних објеката, њихових атрибута и релација у оквиру скупа података у односу на спецификацију производа. Тип вредности за ову меру квалитета је цео број (Дробњак, 2016).

Оцена броја сувишних објеката тест подручја најчешће се реализује поређењем са референтним просторним подацима (екстерни или спољашњи тип оцене), док се оцена броја сувишних атрибута објеката и њихових релација реализује коришћењем интерне (унутрашње) оцене просторних података. Прикупљени просторни подаци садржаја Централне ГБП који репрезентују ДТК25 на основу Упутства за израду ДТК25 не садрже референтне податке, који би се могли користити за оцену потпуности, тако да је веома тешко оценити број сувишних објеката (Drobnjak, Sekulović, Amović, Gigović & Regodić, 2016).

У раду је, због наведеног разлога, оцењен број сувишних атрибута објеката и њихових релација. Реализацијом Централне ГБП, креирана је релација између атрибута објеката и анотација, где је дефинисано аутоматско исписивање анотација уписом атрибута у одговарајуће атрибутно поље појединачних тематских слојева. У процесу израде ДТК у окружењу Централне ГБП дешава се да реститутори направе пропуст и случајно обришу анотацију, док атрибут остаје у атрибутном пољу, и на тај начин се појављује вишак атрибута у односу на њихову релацију, која представља анотацију.

Оцена броја сувишних објеката реализована је интерном (унутрашњом) методом оцене квалитета просторних података Централне ГБП, коришћењем екстензије Data Reviewer софтвера ArcGis. Наведена екстензија садржи алат који је коришћен за оцену укупног броја сувишних атрибута објеката и њихових релација (енг: *Table to table check*). Помоћу наведеног алата (слика 3) оцењен је број сувишних атрибута објекта у односу на њихове одговарајуће релације, односно анотације.



Слика 3: Алат за анализу броја сувишних објеката

3.2 Мера квалитета: број дуплираних објеката

Меру квалитета број дуплираних објеката репрезентује укупан број потпуно дуплираних објеката у скупу података, односно збир свих објеката у скупу података који су погрешно искартирани са дуплим геометријама. Тип вредности за ову меру квалитета је цео број (Drobnjak, Sekulović, Amović, Gigović & Regodić, 2016).

Број дуплираних објеката реализује се интерном (унутрашњом), потпуном методом оцене просторних података Централне ГБП, коришћењем екстензије Data Reviewer софтвера ArcGis. Наведена екстензија садржи алат за анализу двоструке геометрије просторних података (енг: *Duplicate Geometry*).

4. НЕДОСТАТАК ПОДАТАКА

4.1 Мера квалитета: број недостајућих објеката

Број недостајућих објеката представља збир свих објеката који би требало да буду у скупу података, а недостају. Тип вредности за ову меру квалитета је цео број (Дробњак, 2016).

Као и код броја сувишних објеката оцена мере квалитета број недостајућих објеката реализована је бројањем недостајућих атрибута објеката и њихових релација (односно анотација на карти). При оцени мере број сувишних објеката користимо унутрашњу, директну и потпуну методу оцене квалитета, помоћу екстензије DataReviewer софтверског пакета ArcGis.

5. РЕЗУЛТАТИ ОЦЕНЕ ПОТПУНОСТИ ДТК25

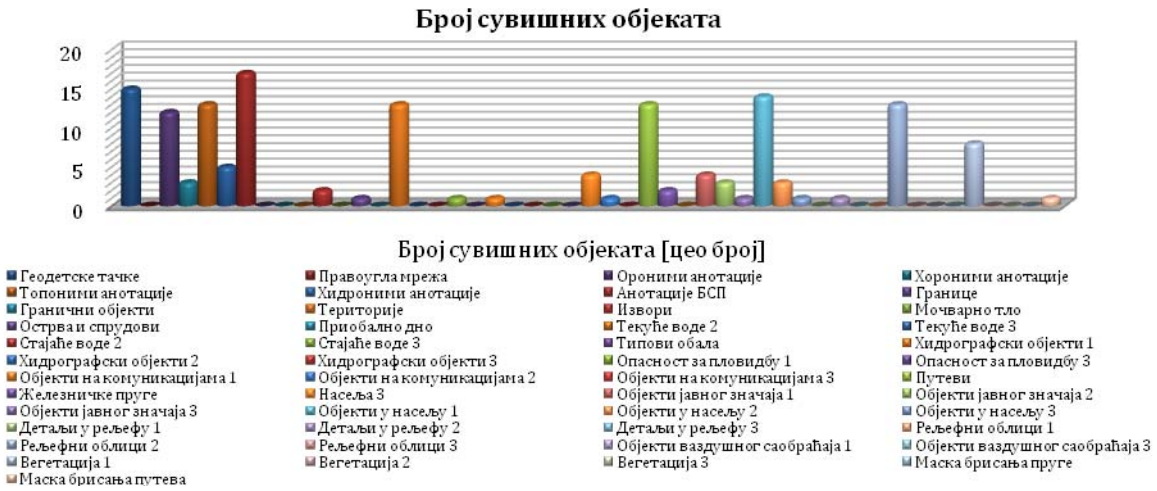
Резултати оцене потпуности, дати су у табели 1, представљају пример квантитативног резултата оцене квалитета.

Табела 1: Део резултата оцене квалитета за елемент квалитета потпуност

Објектна класа	Укупан број објеката у области од значаја	Мере квалитета података [тип вредности]				
		Број сувишних објеката [цео број]	Проценат сувишних објеката [%]	Број дуплираних објеката [цео број]	Број недостајућих објеката [цео број]	Проценат недостајућих објеката [%]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Objekti javnog značaja 1	7565	4	0,05	10	5	0,07
Objekti javnog značaja 2	4858	3	0,06	2	3	0,06
Objekti javnog značaja 3	2063	1	0,05	1	4	0,19
Objekti u naselju 1	635343	14	0,00	21	18	0,00
Objekti u naselju 2	24218	3	0,01	6	1	0,00
Objekti u naselju 3	672	1	0,15	4	1	0,15
⋮	⋮	. . .	. . .	⋮	. . .	⋮
ЦЕЛОКУПАН САДРЖАЈ ПРОСТОРНИХ ПОДТАКА ЦЕНТРАЛНЕ ГБП						
Σ	**1560114**	**155**	**0,01**	**282**	**219**	**0,02**

4.1. Вишак података

На дијаграму (слика 4) дат је графички приказ укупног броја сувишних атрибута објеката у односу на број исписаних анотација тест подручја као мера квалитета број сувишних објеката. Највећи број сувишних атрибута објеката у односу на исписане анотације појављује се код тематских слојева који представљају географске називе (хороними, ороними, хидроними, топоними и анотације бројчано-словних података) и тематским слојевима који имају велики број елемената (Текуће воде 2, Путеви, Објекти у насељу 1 и Рељефни облици 2), што је било очекивано.

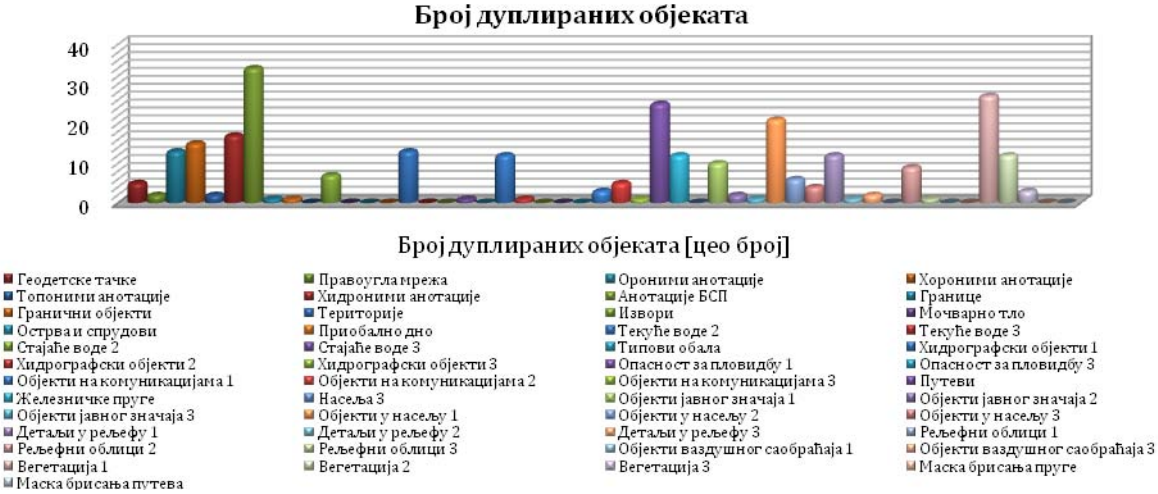


Слика 4: Дијаграм број сувишних објеката

Укупан број анализираних објеката је 1560114, укупан број сувишних објеката је 155. Највећи број сувишних објеката садржи тематски слој анотације бројчано-словних података (Анотације БСП), а то је 17 објеката.

На дијаграму (слика 5), приказани су резултати оцене мере квалитета број дуплираних објеката.

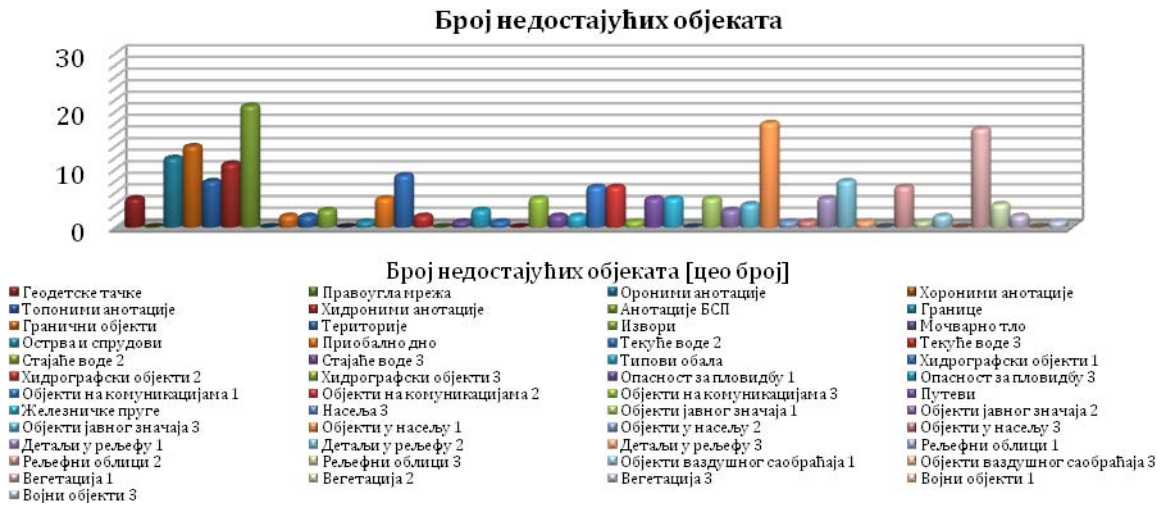
Укупан број анализираних објеката је, такође, 1560114, док је укупан број дуплираних објеката 282. Највећи број објеката са дуплираним геометријом садржи тематски слој Анотације БСП (34), и Вегетација 1 (27) објеката.



Слика 5: Дијаграм број дуплираних објеката

4.2. Недостатак података

Резултати оцене квалитета приказани су дијаграмом на слици 6, где можемо видети да од 219 недостајућих атрибута објеката и њихових релација највише недостају Анотације БСП (21 елемент), Објекти у насељу 1 (18 елемената) и Вегатација 1 (17 елеманата), од укупно анализираних 1560114 елеманата.



Слика 6: Дијаграм број недостајућих објеката

5. ЗАКЉУЧАК

При оцени потпуности тест примера Централне ГБП који репрезентују ДТК25 у тренутку тестирања, идентификоване су три мере квалитета: број сувишних објеката, број дуплираних објеката и број недостајућих објеката. Дефинисана процедура при оцени потпуности представља директну, унутрашњу и потпуну методу оцене квалитета, која је реализована коришћењем различитих алата екстензије Data Reviewer софтверског пакета ArcGis фирме ESRI. Резултати оцене потпуности приказани су на квантитативни начин помоћу дијаграма за сваку коришћену меру квалитета и помоћу табеле, где су приказани квантитативни резултати оцене за сваки појединачни тематски слој садржаја Централне ГБП који репрезентују ДТК25.

На основу резултата оцене елемента квалитета потпуност, утврђено је да просторни подаци Централне ГБП Војногеографског института имају висок квалитет и садрже висок степен сагласности са спецификацијом производа.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Brassel, K., Bucher, F., Stephan, E. & Vckovski, A. (1995). Completeness, in Elements of Spatial Data Quality. edited by Guptill, S. C. And Morrison J.L., Oxford, Elsevier, p. 81-108.

[2] Devillers, R., & Jeansoulin, R. (2006). Spatial Data Quality: Concepts, In Fundamentals of Spatial Data Quality. edited by R. Devillers and R. Jeansoulin. London: ISTE, pp. 31-42nd

[3] Дробњак, С. М. (2016). Оцена квалитета дигиталних топографских карата (Doctoral dissertation, Универзитет у Београду, Грађевински факултет).

[4] Drobnjak, S., Sekulović, D., Amović, M., Gigović, L., & Regodić, M. (2016). Central geospatial database analysis of the quality of road infrastructure data. Geodetski Vestnik, 60(2), 269-284.

[5] Drobnjak, S. M., Radojčić, S. M., & Božić, B. S. (2014). ISO 19157 standard application in technological process of the production of digital topographic maps. Tehnika, 69(6), 931-937.

[6] ISO 19157 (2013). Geographic information — Data quality. International Standardization Organization, Geneva, ISO.

[7] Van Oort, P. (2006). Spatial data quality: From description to application. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRIMENA GIS MODELA U IZRADI MAPE HAZARDA OD POPLAVA

GIS APPLICATION MODEL IN DESIGN OF FLOOD HAZARD MAPS

LJUBOMIR GIGOVIĆ[1], MIODRAG REGODIĆ[2], SINIŠA DROBNJAK[3]

[1] Vojna akademija, Univerzitet odbrane Beograd, gigoviclj@gmail.com
[2] Vojna akademija, Univerzitet odbrane Beograd, miodrag.regodic@va.mod.gov.rs
[3] Vojnogeografski institut, Beograd, sdrobnjak81@gmail.com

Rezime: *U radu je izvršeno kartiranje hazarda od pojave poplava sa ciljem predviđanja i smanjenja njihove učestalosti i ekološke štete koje izazivaju. Predloženi model se zasniva na kombinovanoj primeni Geografskih informacionih sistema (GIS) i višekriterijumskog odlučivanja (MCDA) korišćenjem fazi logike i analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Postupak je razvijen uz pomoć šest kriterijuma. Primenom Fuzzy logike izvršena je standardizacija kriterijuma, dok su AHP-om izračunati težinski koeficijenati u odnosu na njihovu osetljivost na nastanak poplava. Konačna mapa hazarda od poplava klasifikovana je u 5 kategorija Indeksa hazarda (FHI), od veoma niskog do veoma visokog. Predložena metoda i rezultati ovog rada mogu se koristiti za politiku održivog razvoja na svim nivoima državne uprave.*

Ključne reči: *GIS, višekriterijumska analiza, AHP, poplava.*

Abstract: *This paper presents a model mapping hazards from floods to predict and reduce the frequency of flooding and environmental damage caused by them. The proposed model is based on the combined application of Geographic Information Systems (GIS) and multi-criteria decision-making (MCDA) using fuzzy logic and analytic hierarchy process (AHP). The process was developed with the help of six criteria. Fuzzy logic application was made to standardize the criteria, while the AHP used to calculate the weights of criteria. The final hazard map of the floods were classified into 5 categories Index hazards (FHI), from a very low to very high. The proposed method and the results of this study can be used for a policy of sustainable development at all levels of government.*

Keywords: *GIS, multicriteria analysis, AHP, flood.*

1. UVOD

Poplave spadaju u najteže prirodne nepogode, koje ugrožavaju više života i izazivaju više imovinske šteta nego bilo koji drugi prirodni fenomen. Smanjenje rizika i upravljanje poplavama ima višestruki značaj. Pored toga što se smanjuju materijalni i ljudski gubici, smanjuje se nekontrolisana kontaminacija zagađivača poznatog i nepoznatog porekla na okolinu, a takođe se stvaraju uslovi za optimalno korišćenje zemljišta. Savremeni trendovi integralnog upravljanja i planiranja vodama podrazumevaju adekvatnu procenu rizika na njihovu pojavu i primenu niza tehničkih i preventivnih mera kojima se omogućava kontrola kretanja voda u svim projektovanim hidrološkim režimima. Upravljanje poplavama ne može postati tehnički izvodljivo bez pravilne procene opasnosti od poplava i izrade karata hazarda i rizika od poplava.

Član 6. Direktive EFD 2007/60/EC zahteva od država članica i država koje nisu članice (obavezno za internacionalne vodotokove) da pripreme mape/karte hazarda (opasnosti) i rizika od poplava. Kompletan proces mapiranje poplava se sastoji od izrade mapa hazarda i mapa rizika od poplava (Članovi 6.3. i 6.5.). Osnovne razlike između karata hazarda i rizika su sledeće :

- Mape hazarda treba da pokriju geografsko područje koje može biti poplavljeno prema različitim scenarijima (Član 6.3), zajedno sa informacijama o opasnostima koja se odnose na ugroženo područje;
- Mape rizika pokazuju potencijalno negativne posledice, povezane sa određenim scenarijama poplava, koja se odnose na zdravlje ljudi, ekonomske aktivnosti, životnu sredinu I kulturno nasleđe (Član. 6.5).

Mapiranje hazarda/rizika od poplava pretstavlja geografsku indentifikaciju i ilustraciju područja sa prikazanim različitim nivoima rizika od poplavnog hazarda. U odnosu na ovo, poplavne mape je potrebno

dizajnirati da odgovaraju potrebama krajnjih korisnika. Ovo je jako važno, obzirom da je potrebno preneti kompleksnu poruku o poplavama i poplavnim rizicima što većem broju zainteresovanih.

U današnje vreme analiza rizika od prirodnih nepogoda je nezamisliva bez digitalnih podloga i podrške Geografskih Informacionih Sistema (GIS). Prirodne nepogode su multidimenzionalni fenomeni sa prostornom dimenzijom, što čini GIS veoma aplikativnim za takve analize [1]. Geoinformacioni sistemi su pogodni za ovu vrstu studija, jer kroz moćne geostatističke funkcije mogu efikasno da upravljaju velikim količinama prostornih podataka.

Tokom poslednjih nekoliko decenija, kombinacija GIS i MCDA se pokazala uspešnom i u velikom broju studija često je korišćena u proceni rizika i generisanju mapa rizika od poplava [2-3]. Veliki broj studija pokazuju da je AHP u GIS okruženju najpopularniji i snažan metod za generisanje mape rizika od poplava, sa visokim stepenom tačnosti i da je pogodan za različite hazardne studije [4-7]. U ovom radu prikazan je GIS-AHP model za zoniranje rizika od poplava u urbanim sredinama. Model razmatra 6 kriterijuma: visinu, nagib, rastojanje do vodenih površina, dubinu podzemnih voda, padavine i korišćenje zemljišta. Cilj primene GIS-AHP modela je izrada konačne mape opasnosti od poplava, sa definisanim područjima različite verovatnoće od pojave poplava. Takva mapa predstavlja prvi korak u izradi planova upravljanja rizicima od poplava.

2. METODOLOGIJA RADA

Metodološki model u ovom radu zasnovan je na prostornoj GIS-MCDA strukturi. Sa metodološke tačke gledišta, predloženi GIS-AHP MCDA model definisanja kriznih zona za poplave obuhvata sledeće korake:

1. Definisanje cilja/problema i arhitekture modela
   - identifikacija glavnog cilja
   - definisanje mrežne strukture modela
2. Identifikacija kriterijuma poplava
3. Prikupljanje podataka i izgradnja GIS prostorne baze kriterijuma
4. GIS-MCDA evaluacija
   - Individualno vrednovanje kriterijuma i unos u GIS
   - Fuzzy standardizacija kriterijuma
   - Formiranje matrice odlučivanja i relativna procena težine kriterijuma (AHP)
   - Rezultati agregacije (WLC)
   - Validacija rezultata
5. GIS vizuelizacija konačnog rešenja i preporuke

2.1. Izbor kriterijuma

Izbor kriterijuma za evaluaciju rizika od poplava predstavlja važan korak analize. Na osnovu predhodnih studija [2-7], stručnih stavova eksperata i dužih opservacija sa terena u ovoj studiji usvojeno je 6 kriterijuma koji su važan uzročnik poplava. Izabrani kriterijumi sa kratkim opisom su :

Visina (C1) ima ključnu ulogu u kontroli kretanja prelivnog pravca i u dubini nivoa vode.Visinska predstava se dobija korišćenjem Digital Elevation Model (DEM).

Nagib (C2) je važan površinski indikator zona koje su visoko podložne poplavama. Nagib zemljišta je glavni faktor u određivanje brzine i trajanja protoka vode. Na ravnijim površinama voda se sporije kreće, sakuplja i duže akumulira, time su ove oblasti rizičnije na pojavu poplava u odnosu na strmije površi. Podaci se dobijaju koristeći DEM.

Rastojanje od vodenih površina (C3) ima značajan uticaj na širenje i veličine poplava u posmatranom području. Rečni prelivi su jedan od glavnih uzročnika za pokretanje poplava. Često plavljenje počinje iz rečnog ili kanalskog korita i širi se u okruženju. Područja u blizini vodenih površina su veoma rizična područja za pojavu poplava, a efekat ovog kriterijuma se smanjuje sa povećanjem razdaljine.

Nivo podzemnih voda (C4) neposredno utiče na kapacitet infiltracije zemljišta. U područjima sa niskim nivoom podzemnih voda, površina zemljišta se sa pojavom vode brzo zasiti i akumulira i širi na okolno područje.

Količina padavina (C5) je kriterijum koji ima uticaj na poplave, jer predstavlja neposredni generator nastanka i količine vodenih talasa. Područja koja se karakterišu sa većim izlučivanjem padavina su rizičnija na pojavu poplava.

Korišćenje zemljišta (C6) je takođe jedan od glavnih faktora koji doprinosi pojavi poplava i ima važan uticaj na oticaj i sposobnost zemlljišta da deluje kao skladište vode. Urbane i industrijske površine su uglavnom napravljene od nepropusnih površina (zgrade, putevi i parkinzi), ponašaju se kao prepreke,

smanjuju kapacitet infiltracije, zadržavaju vodu i sklona su pojavi poplava. S druge strane područja sa travnatom i šumskom vegetacijom su manje sklona poplavama. Za potrebe ove studije, korišćenje zemljišta je sistematizovano u osam kategorija: urbanizovana područja, industrijska područja, poljoprivredno zemljište, zemljište pokriveno oskudnom vegetacijom, travnate oblasti i parkovi, šume, močvarno područje i vodene površine .

Nakon što su kriterijumi određeni, sledeći korak njihove evaluacije izgradnja prostorne baze podataka i unos u GIS. Na taj način, svaki od kriterijuma je konvertovan u vidu prostorno definisanih slojeva karata sa ćelijama rastera iste veličine koje predstavljaju jedinice koje se procenjuju. Podaci korišćeni u ovoj studiji su sastavljeni iz različitih izvora. Svi GIS procesi transformacije i modelovanja podataka su izvedeni korišćenjem integrisanih alata ArcGIS 10.2 ESRI softvera. Karte kriterijuma visina i nagib dobijeni su korišćenjem 3D Analyst algoritma na osnovu DEM, karte udaljenosti dobijene su na osnovu korišćenja Radial Distance alata, karta dubine podzemnih voda je dobijena georeferenciranjem hidroloških podataka, dok je karta Land cover use dobijena importovanjem OpenStreetMap (OSM) baze u okviru ArcGis softverskog okruženja.

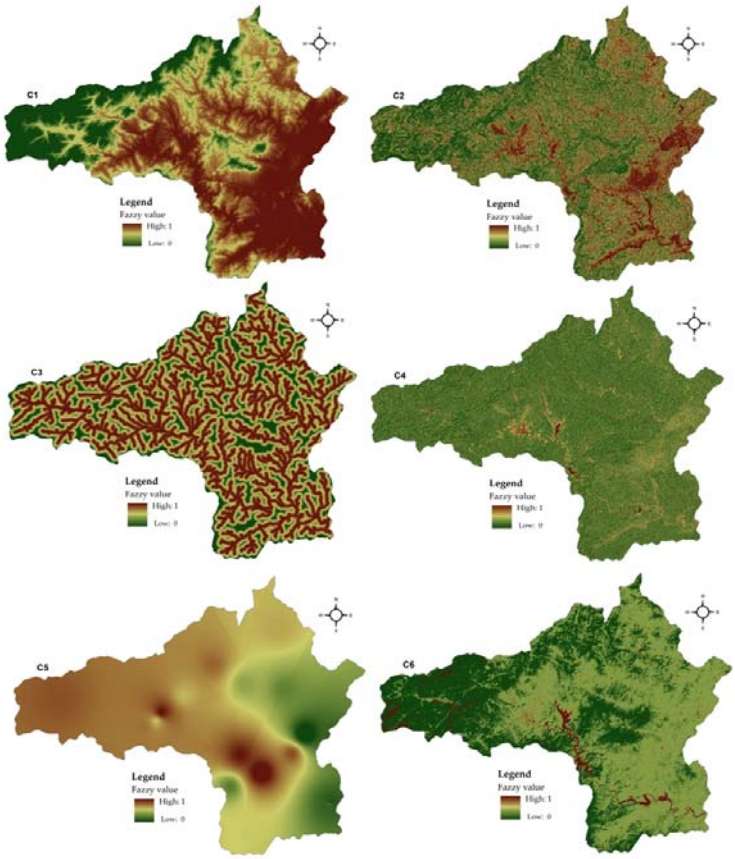
2.2. GIS-MCDA

Prvi korak MCDA jeste da svi skupovi podataka budu standardizovani i u jedinicama koje se mogu uporediti. U radu, svi kriterijumi su standardizovani korišćenjem fazi skupova. S obzirom da ulazni podaci mogu imati diskretne ili kontinuirane vrednosti, korišćene su metode diskretne i kontiuinirane fuzzy standardizacije.

Tabela 1: Fuzzy standardizacija kriterijuma

Kriterijum	Oblik fuzzy funkcije članstva	Kontrolne tačke	Opis fuzzy članstva
Visina (C1)	Linearna Monotono opadajuća	c= 50 m d= 500 m	0-50 m jednako 1, 50-500m između 1-0, više od 500m jednako to 0
Nagib (C2)	Linearna Monotono opadajuća	c= 1 % d= 35 %	0-1% jednako 1, 1-30% između 1-0, više od 35% jednako to 0
Udaljenost od vodenih površina (C4)	Linearna Monotono opadajuća	c= 100m d= 2000m	0-100 m jednako 1, 100- 2000m između 1-0, više od 2000m jednako to 0
Nivo podzemnih voda (C5)	Linearna Monotono opadajuća	c= 100 cm d= 5000 cm	0-100 cm jednako 1, 100- 4000 cm između 1-0, više od 5000 cm jednako to 0
Količina padavina (C5)	Linearna Monotono rastuća	c= 500 mm d= 5000 mm	0-500 mm jednako 0, 500- 1500 mm između 0-1, više od 1500 mm jednako to 1
Korišćenje zemljišta (C6)	Discrete categorical data	voda 1; močvare 0,9; urbanizova 0,8; industrija 0,7; poljoprivredna 0.5; retka vegetacija 0.4; parkovi i trava 0, 2; šuma 0,1	

Diskretna standardizacija, u kojoj eksperti neposredno dodeljuju vrednosti atributa na definisanoj skali pripadnosti, je korišćena za fuzzy standardizaciju kategoričnog kriterijuma – korišćenje zemljišta. U standardizaciji ostalih skupova podataka, kod kojih se vrednosti atributa postepeno menjaju sa jedne lokacije na drugu, primenjena je kontinuirana standardizacija. Ovi skupovi podataka su standardizovani primenom fuzzy koncepta na kontinuiranoj skali u zavisnosti od izabrane funkcije pripadnosti. Za vrednovanje podobnost atributa korišćena je kontiunirana skala u opsegu od 0 do 1 bajta, gde je 0 najmanje rizična, a 1 najrizičnija vrednost atributa u odnosu na mogućnost pojave poplava. Standardizovani kriterijumi za ocenu sa fuzzy funkcijama i oblikom članstva prikazani su u Tabeli 1 i Slika 1.



Slika 1: Mape standardizovanih kriterijuma

2.3. Ponderisanje kriterijuma (AHP)

Za izračunavanje normalizovanih težina kriterijuma iskorišćena je višekriterijumska tehnika u vidu AHP metode [8]. Metodološki posmatrano, AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na međusobnom poređenju elemenata na datom hijerarhijskom nivou u odnosu na elemente na višem nivou. Na vrhu je cilj, ispod su kriterijumi (podkriterijumi, ako postoje) i na dnu su alternative. AHP zahteva da se prvo međusobno porede kriterijumi i izračunaju njihove relativne težine u odnosu na cilj. Alternative se zatim porede u parovima u odnosu na svaki kriterijum i analognim postupkom određuju se njihove relativne težine u odnosu na kriterijume. Posmatrajući definisani cilj za svaki par kriterijuma su unešene vrednosti značaja jednog u odnosu na drugi. Na taj način polja po dijagonali matrice iznose 1. Nakon unošenja vrednosti iz Satijeve skale u matricu poređenja, izračunavaju se težinske vrednosti kriterijuma (w_i). Matrica poređenja na nivou klastera prikazana je u Tabeli 2.

Tabela 2. Matrica poređenja i težine kriterijuma

Kriter.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	w_i
C1	1	3	5	6	7	4	0.430
C2	1/3	1	2	3	4	4	0.230
C3	1/5	1/2	1	2	3	1/3	0.088
C4	1/6	1/3	1/2	1	3	1/4	0.061
C5	1/7	1/4	1/3	1/3	1	1/5	0.036
C6	1/4	1/4	3	4	5	1	0.155

λ_{max}=6.517 CI= 0.37 CR= 8,2%

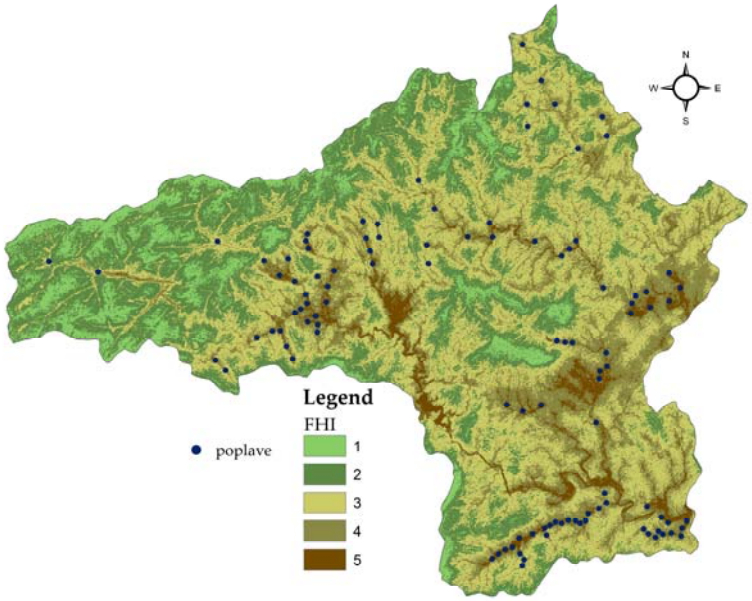
2.4. Agregacija konačne mape

U agregaciji konačne mape hazarda od poplava koristi se Ponderisana linearna kombinacija (Weighted Linear Combination, WLC) koja je integrisana u Spatial analyst tools, prema formuli:

$$S=\Sigma\, w_i\, x_i$$

gde je S-indeks opasnosti od poplave, wi je normalizovana težina kriterijuma i, i x_i je fuzzy vrednost opasnosti od poplave prema kriterijumu i. Na taj način, množe se težine kriterijuma, dobijenih kao rezultat

AHP-a, sa fuzzy skorom ćelija svakog kriterijuma i kao rezultat se generiše konačna mapa hazarda od poplave. Na bazi usvojenih kriterijuma, dobijena je konačna mapa opasnosti, koja je predstavljena u istom fazzy vrednosnom opsegu kao i kriterijumi od 0 do 1. Veće vrednosti ćelija karakterišu prostor koji je više rizičan sa stanovišta pojave poplave. U sledećem koraku, primenom metode standardne devijacije izvršena je defazifikacija na 5 klasa Indeksa Hazarda (FHI) od poplava od veoma niskog do veoma visokog (Slika 2).



Slika 2: Konačna mapa hazarda od poplava sa mestima poplavnih događaja

Analizom rezultata (Tabela 3), površina prostora sa najvećim hazardom od poplava (FHI 5) iznosi 71,6 km^2, što je 4,6% teritorije oblasti studije. Pored toga još, 329,8 km^2, područja se smatra visoko hazardnim od poplava (FHI 4). S druge strane, 118,4 km^2 nema realne opasnosti od pojave poplave. Najugroženiji su delovi u istočnom i južnom delu oblasti, koji se nalaze na nižim nadmosrskim visinama, ravničarskom reljefu i u neposrednoj blizini rečnih tokova.

Tabela 3: Analiza Indeksa hazarda od poplave u oblasti studije

Indeks Hazarda		Oblast studije		Broj ćelija
		(km^2)	%	(30x30 m)
FHI 1	Veoma slab	118,4	7,7	131 544
FHI 2	Slab	434,8	28,2	483 080
FHI 3	Umeren	588,4	38,1	653 747
FHI 4	Visok	329,8	21,4	366 514
FHI 5	Veoma visok	71,6	4,6	79 534

3. VALIDACIJA REZULTATA

Za validaciju konačnih rezultata dobijenih primenom GIS MCDA modela procene rizika od poplava, neophodno je odrediti prostornu vezu između istorijskih mesta poplava i mape hazarda od poplava. Validacija mapa rizika od poplava izvedena je na osnovu 112 događaja istorijskih poplava koje su zabeležene na području istraživanja. Podaci o velikim vodama i poplavama iz prošlosti prikupljeni su od svih nadležnih subjekata koji učestvuju u zaštiti od poplava, javnih vodoprivrednih preduzeća i lokalnog stanovništva.

Za potrebe ovakve analize korišćen se algoritam "Extract by Mask" integrisan u okviru ArcGis10.2 softverskog okruženja. Na osnovu ovog alata, ćelije rastera koje odgovaraju istorijski poplavljenim mestima se, na osnovu prostornog poklapanja, ekstrahuju u jedan odpet različitih indekas hazarda od poplava. Rezultati ove analize su prikazani u Tabeli 4.

Tabela 4: Prostorni odnos Indeksa hazarda od poplave i događaja poplave u oblasti studije

Poplave tačke	Indeks Hazarda Poplava (FHI)				
	5	4	3	2	1
112	66 (58.9%)	33 (29.5%)	13 (11.6%)	0	0

Na osnovu rezultata validacije iz tabele uočava se relativno visoka doslednost primenjenog GIS-AHP modela. Sagledavanjem konačne mape hazarda od poplave (Tabela 4), uočava se da se 66 (58,9%) zabeleženih mesta poplava poklapaju sa zonom vrlo visokog rizika od poplava, dok se od 33 mesta istorijskih poplava poklapa sa zonom veoma visokog hazarda od poplava i 13 se poklapa sa zonom visokog hazarda od poplava. Na ovaj način, pouzdanost predloženog modela je potvrđena, čime je osigurana, izvesnost rezultata ove analize. Iz navedenog proizilazi zaključak o opravdanosti primene GIS-AHP modela u izradi mape hazarda od poplava.

4. ZAKLJUČAK

Učestalost pojave poplave i veličina pričinjenih šteta u mnogom zavisi od detaljno proučenih i razrađenih preventivih mera. Zaštita od poplava koncipirana je preko procene hazarda i rizika od poplava. U radu je prikazan GIS-AHP MCDA model s ciljem evaluacije i izrade mape hazarda od poplava. Predviđanje i izrada mape hazarda od poplava izvršeno je na osnovu šest definisanih kriterijuma od strane eksperata. Standardizacija kriterijuma je izvedena primenom fuzzy logike. U postupku određivanja odnosa između kriterijuma korišćen je AHP višekriterijumski metod. Matrice poređenja zasnovane su na iskustvu eksperta, literaturi i dosadašnjoj praksi. Konačna mapa hazarda od poplava je dobijena primenom WLC metode. Validacija dobijenih rezultata je izvršena poređenjem istorijskih mesta poplava sa dobijenom mapaom hazarda i ukazuje na visoku doslednost primenjenog modela. Primenjenim modelom proširuje se teorijski okvir znanja iz oblasti upravljanja rizicima. Postojeću metodologiju moguće je primeniti na različita područja sa sličnim geografskim karakteristikama. Takođe, prikazani model je moguće unaprediti sa novim i modifikovanim kriterijumima koji u dosadašnjim modelima nisu razmatrani, a koji su od značaja za ovu problematiku.

LITERATURA

[1] Strobl, R.O., Forte, F. Lonigro, T. (2012). Comparison of the feasibility of three flood-risk extent delineation techniques using Geographic Information System: case study in Tavoliere delle Puglie, Italy. Flood Risk Manag. 5, 245-257.

[2] Sowmya, K. John, C.M. Shrivasthava, N.K. (2015). Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS. Natural Hazards, 75,1271–1286.

[3] Brito M., Evers M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 16, 1019–1033.

[4] Gigović, L. Pamučar, D. Bajić, Z. Drobnjak. (2017). S. Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. Water, *9*, 360.

[5] Siddayao, G.P., Valdez, S.E., Fernandez, P.L. (2014). Analytic hierarchy process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment. Int. J. Mach. Learn. Comput. 4 (5), 450.

[6] Stefanidis, S., Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). Nat Hazards. 68, 569–585.

[7] Chakraborty, A. Joshi, P. K. (2014). Mapping disaster vulnerability in India using analytical hierarchy process. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7, 20, 308-325.

[8] T.L. Saaty. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 287.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

TEHNIKA VLBI – OSNOVE, STATUS I CILJEVI

VLBI TECHNIQUE – BASICS, STATUS AND GOALS

GORANA TODORIĆ[1], DEJAN VASIĆ[2], DRAGOLJUB SEKULOVIĆ[3]

[1] Republička uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove Banja Luka, PJ Derventa, Geodetska agencija „ViŽ“ Prnjavor, gorana.todoric@hotmail.com
[2] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Studijski program Geodezija, dejan.vasic@aggf.unibl.org
[3] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, sekulovicdr@yahoo.co.uk

---

Rezime: *Tehnika dugobazisne interferometrije – VLBI do sada je postigla značajne rezultate u pogledu astronomskih istraživanja kosmičkih radio izvora i geodetskih istraživanja geodinamičkih fenomena Zemlje. Međutim, stalan napredak tehnologije i brz tempo života postavljaju nove zahtjeve tačnosti i pouzdanosti. Da bi se oni postigli, potrebno je sagledati sve aspekte geodetske VLBI tehnike, uključujući opremu, procese i opažačke strategije.*

Ključne reči: *VLBI, radio teleskopi, zahtjevi tačnosti.*

Abstract: *Very Long Baseline Interferometry – VLBI has already achieved significant results in terms of astronomical research of cosmic radio sources and geodetic surveys of geodynamic phenomena of the Earth. However, the constant progress of technology and the fast pace of life set new requirements for accuracy and reliability. To achieve them, it is necessary to examine all aspects of geodetic VLBI technique, including equipment, processes and observational strategies.*

Keywords: *VLBI, radio telescopes, accuracy requirements.*

1. UVOD

Tehnika VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) unapređuje mjerenja u mnogim istraživanjima u geonaukama i astrometriji, te je primjenjena (između ostalog) u sljedećim područjima izučavanja: globalnih varijacija nivoa okeana; atmosfere, okeanske plime i oseke kao i vjetrova i njihovog uticaja na elastičnu Zemljinu koru; dinamike Zemljine kore, izučavanja oblika Zemljine kore i graničnog omotača; izučavanja promjenljivosti Zemljine rotacije i kretanja Zemljine ose rotacije, iskazane promjenom svjetskog vremena UT1 (Universal Time 1) i kretanjem polova, definisanja i održavanja terestričkog i nebeskog referentnog sistema, i dr. Teži se razvoju VLBI u geodeziji i položajnoj astronomiji, i to u prvom redu proširenjem primjene, kao i ponovnim poboljšanjima preciznosti mjerenja. Međutim, povećanje trenutnog nivoa tačnosti i pouzdanosti sputavaju brojni problemi, i to starost antena, zastarjela elektronika, kao i visoki troškovi postavljanja i održavanja opreme, kao i izvođenja radova. Postizanje modernih zahtjeva veće tačnosti, kontinuirani protok podataka i skraćenje vremena izvođenja je izazov stalnog napretka VLBI tehnike tokom prošlih 50-ak godina. Srećom, skoriji napredak u izradi antena, digitalnoj elektronici i tehnologiji prenosa podataka omogućavaju operativne modove nezamislive samo nekoliko godina ranije. Dalje, ulaganje kapitala i smanjenje troškova izvođenja sa novom tehnologijom potpunu obnovu trenutne infrastrukture čine prihvatljivom u pogledu troškova.

U ovom radu istraženi su trenutni i budući zahtjevi za geodetsku VLBI tehniku, uključujući sve komponente od antena do analize, te su analizirani ciljevi nove generacije VLBI sistema. Ti ciljevi su bazirani prema sljedećim kriterijumima:

- tačnost mjerenja od 1 mm na svjetskim baznim linijama;
- kontinuirana mjerenja za vremenske serije prilikom određivanja položaja stanica i zemljinih orijentacionih parametara (*Earth Orientation Parameters – EOP*); i
- vrijeme dobijanja početnih geodetskih rezultata od manje od 24 časa.

Dok novi zahtjevi predstavljaju značajne izazove, veoma je važno da se nastavi s mjerenjima koje VLBI tehniku čine jedinstvenom kosmičko-geodetskom tehnikom: UT1 i nutacija, i nebeski referentni okvir (*Celestial Reference Frame – CRF*).

2 OSNOVE VLBI TEHNIKE

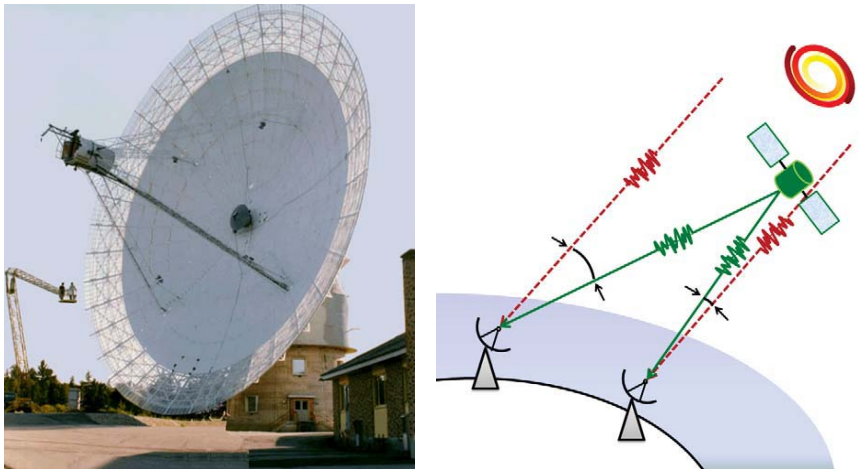
2.1. Princip rada VLBI

Dugobazisna interferometrija je svemirsko-geodetska tehnika pomoću koje se posmatraju veoma udaljeni, svijetli, tačkasti radio izvori, kvazari ili radio galaksije (Schuh & Böhm 2013). Interferometrija veoma dugih baznih linija (VLBI) koja omogućava određivanje korelacije detektovanog radio signala sa udaljenog kvazara, koristi se kod interkontinentalnih mjerenja dužina. Ekstremno stabilan signal kosmičkog radio izvora istovremeno se obrađuje u dva jako udaljena prijemnika, npr. na stanicama Vecel u Njemačkoj (Wetzell) i Santjago u Čileu (Santiago de Chile). Znajući brzinu prostiranja talasa, mjerenjem vremenske razlike, bazna linija određuje se sa veoma velikom tačnošću od čak 0,01 ppm (parts-per-million) (Nedeljković i Sekulić 2015).

Primjena VLBI tehnologije počela je prije više od pedeset godina, sredinom 1960-ih godina, kada je prvi put upotrijebljena u astronomske svrhe istraživanja vangalaktičkih radio izvora (Schuh & Behrend 2012). Kasnije se ispostavilo da je VLBI idealna tehnika za istraživanje geodinamičkih fenomena Zemlje, kao što su promjene Zemljine rotacije, dužine dana, pomjeranje polova, nutacija, određivanje parametara plime, itd. VLBI obezbjeđuje visoko precizno globalno pozicioniranje, zbog čega ima veoma važnu ulogu u otkrivanju kontinentalnih pomjeranja (Sušić 2014).

Geodetska VLBI tehnika je koordinisana od strane Međunarodne VLBI službe za geodeziju i astrometriju (*International VLBI Service for Geodesy and Astrometry – IVS*), koja je osnovana 1998. godine kao jedna od službi Međunarodne geodetske asocijacije (*International Association of Geodesy – IAG*). Oko 50 antena, kojima uglavnom upravljaju međunarodne naučne organizacije, doprinose međunarodnom IVS opažačkom programu (vidjeti sliku 1 – lijevo). Ove antene raspoređene širom Zemljine površi pokrivaju najmanje dvije globalne sesije u trajanju od 24 časa sedmično i jednu takozvanu intenzivnu sesiju u trajanju od 1 časa po danu. Dok prva konfiguracija opaža Zemljinu orijentaciju i globalna pomjeranja stanica, druga se koristi za praćenje brzine Zemljine rotacije. IVS obezbjeđuje i sesije za određivanje i održavanje Međunarodnog nebeskog referentnog okvira (*International Celestial Reference Frame – ICRF*) (Plank 2014).

Osnovni princip VLBI pozicioniranja odnosi se na simultanu detekciju signala više radio izvora primjenom najmanje dva radio teleskopa i postupak računanja vremenskog kašnjenja signala kros-koleracijom između različitih stanica (vidjeti sliku 1 – desno).



Slika 1: Radio teleskop u opservatoriji u Algonkvinu u Kanadi (Natlačen & Rojko 2013) (lijevo) i Osnovni princip rada VLBI (Plank 2014) (desno)

U osnovi je geometrijska metoda određivanja rastojanja i orijentacije veoma duge bazne linije, mjerenjem razlike vremena dolaska talasa na dvije VLBI radio antene na krajevima baze (Plank 2014). Dakle, talas ne dolazi istovremeno na obje VLBI radio antene, pa je osnovna opažana veličina vremensko kašnjenje koje je proteklo od trenutka prijema talasa sa radio izvora na jednoj anteni do trenutka prijema istog talasa na drugoj anteni bazne linije.

Na kašnjenje radio signala utiču brojni faktori, te se kašnjenje može izraziti kao funkcija geometrijskog, vremenskog, troposferskog i jonosferskog zaostajanja. Geometrijska komponenta kašnjenja je najveća komponenta opažanog kašnjenja i iznosi do 20 ms. Vremensko zaostajanje zavisi od stabilnosti časovnika na stanici i može kasniti ili žuriti i do 0,19 ms. Troposfersko zaostajanje je uzrokovano suvom i vlažnom komponentom troposfere i iznosi oko 6,6 ns. Za normalnu jonosferu, zaostajanje približno iznosi od 0,1 do 0,2 ns. Primljeni radio signali se, zajedno sa vremenom, pojedinačno zapisuju na svakoj anteni i skladište na magnetne trake, a kasnije se prenose u centralnu koleratorsku stanicu na dalju obradu (Sušić 2014).

Za potrebe VLBI tehnike najčešće se koriste frekvencije između 0,5 GHz i 22 GHz što odgovara talasnim dužinama od 75 cm do 1,3 cm, respektivno. Ovaj opseg pripada radio talasima. Opažanjem više izvora raspoređenih na nebu sa više VLBI antena raspoređenih na Zemljinoj kugli koje zajedno vrše opažanja, istovremeno se mogu odrediti položaj radio izvora, trodimenzionalni položaj svake antene i orijentacija Zemlje u svemiru (Todorić *i dr.* 2016).

2.2. Osnovne jednačine opažanja

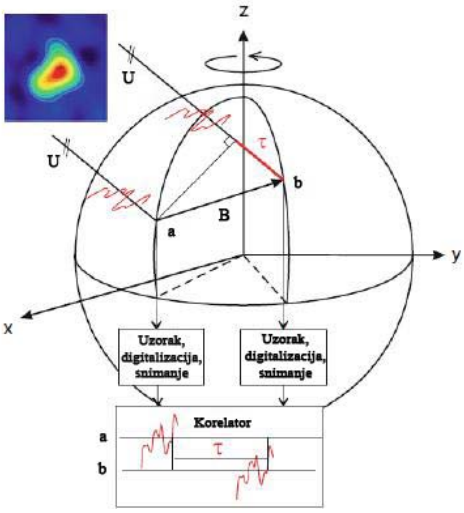
Kašnjenje opažanja se može odrediti primjenom sljedećeg izraza (Brouwer 1985):

$$\tau = t_b - t_a \tag{1}$$

Gdje je: t_a vrijeme pristizanja radio talasa na antenu a, a t_b vrijeme pristizanja radio talasa na antenu b (vidjeti sliku 2).

Kašnjenje modela τ' se najjednostavnije može opisati kao negativan količnik proizvoda vektora bazne linije B i jediničnog vektora u smjeru radio izvora U, i brzine svijetlosti c (oko 300.000 km/s) (Brouwer 1985):

$$\tau' = -\frac{\vec{B} \cdot \vec{U}}{c} \tag{2}$$



Slika 2: Geometrijski model VLBI (Schuh & Behrend 2012)

Negativan znak slijedi iz činjenice da je τ definisano kao pozitivna veličina ako signal pristigne kasnije na stanici b u odnosu na stanicu a (Brouwer 1985).

2.3. Praktična računanja

Na osnovu podataka preuzetih sa IVS internet stranice – http://ivscc.gsfc.nasa.gov./index.html, izvršena je analiza promjene koordinata na nekim od VLBI stanica na godišnjem nivou.

Stanice koje su razmatrane su:

- radio teleskop prečnika 20 m u Vetcelu u Njemačkoj (Wettzell);
- radio teleskop prečnika 6 m u Konsepsionu u Čileu (Tigo Concepcion); i
- radio teleskop prečnika 26 m u Hobartu u Australiji (Hobart).

Za potrebe određivanja promjena položaja stanica korišćen je softverski paket PCTrans u kome je izvršena transformacija koordinata iz Dekartovih geocentričnih koordinata (X, Y, Z) u geografske koordinate (geografska širina – latituda φ i geografska dužina – longituda λ) (Vračarić i Aleksić 2007):

$$\phi = arcsinZ$$
$$\lambda = arctg\frac{Y}{X} \tag{3}$$

a zatim, iz geografskih u pravougle UTM (Universal Transverse Mercator) koordinate (x,y) (Snyder 1987):

$$x = R(\lambda - \lambda_0)$$
$$y = Rlntg(\pi/4 + \varphi/2) \tag{4}$$

gdje je, R poluprečnik Zemlje, λ_0 longituda centralnog meridijana, a λ i φ su izraženi u radijanima.

Dobijena pomjeranja VLBI stanica predstavljena su numerički u Tabeli 1. Pomjeranja pojedinih VLBI stanica su reda nekoliko centimetara, a promjene su iskazane na godišnjem nivou.

Tabela 1: Pomjeranja VLBI stanica na godišnjem nivou

VLBI stanica	Pomjeraj [cm/god]
Wettzell	1,00
Tigo Concepcion	4,00
Hobart	8,00

3. STATUS TRENUTNOG VLBI SISTEMA

3.1. Izazovi VLBI sistema

Trenutna geodetska VLBI mreža antena postigla je izvanredan uspjeh. Korišćenjem VLBI opažanja određuju se položaji antena na Zemlji i položaji kvazara na nebu sa veoma visokom tačnošću, tako da ova tehnologija obezbjeđuje definisanje terestričkog (zemaljskog) i nebeskog inercijalnog referentnog sistema, kao i njihovo povezivanje. Trenutna tačnost položaja antena kreće se u rasponu od nekoliko milimetara, a položaji kvazara su određeni sa tačnošću od nekoliko desetohiljaditih dijelova uglovne sekunde. Pozicioniranje opreme radio teleskopa je izuzetno složen, zahtjevan i skup zadatak. Veoma mali broj zemaljskih VLBI stanica postoji u Centralnoj Evropi (vidjeti sliku 3). Nekoliko permanentnih stanica je postavljeno u Italiji i Njemačkoj, duž linije sjever-jug u zapadnom dijelu Centralne Evrope. Zbog veoma rijetkog rasporeda VLBI stanica, informacije koje se odnose na geodinamička istraživanja Zemljine kore su veoma ograničene (Campbell *et al.* 2002, Schuh & Böhm 2013).

Slika 3: Raspored stanica Evropske VLBI mreže (*European VLBI Network – EVN*) (www.evlbi.org)

Međutim, i pored značajnih rezultata ostvarenih pomoću ove tehnike, brojni faktori se mijenjaju što zahtijeva konstantan napredak (Niell *et al.* 2005):

- Veći dio VLBI opreme koji se danas koristi širom svijeta za geodetske VLBI programe razvijen je 1970-ih i 1980-ih godina. Oprema je dovedena do granica mogućnosti izvođenja radova, te je održavanje takve opreme izuzetno skupo;
- Radio interefencija u S-opsegu se dramatično povećala posljednjih nekoliko godina, smanjujući osjetljivost i povećavajući greške u opsegu na mnogim lokacijama;

- Postojeće antene na mnogim stanicama se kreću sporo, zbog čega je teško obezbijediti brzo pokrivanje čitavog neba koje je potrebno za visoku tačnost;
- Lokacija mnogih antena nije optimalna. Broj praznih prostora u distribuciji antena širom svijeta čini Terestrički referentni okvir (*Terrestrial Reference Frame – TRF*) nepotpunim i smanjuje osjetljivost mjerenja zemljinih orijentacionih parametara;
- Operacioni troškovi su visoki zbog činjenice da izvođenje operacija bez kadrovske postavke generalno nije moguće;
- Vrijeme obrade do konačnih rezultata je dugo zbog dugog vremena slanja podataka i zbog nedostatka automatizacije softvera za konačno rješenje.

3.2. Skoriji razvoj

U posljednjih nekoliko godina sprovedeno je nekoliko rješenja vezanih za tehnološki razvoj, koja bi trebalo da obezbijede značajno poboljšanje u sposobnosti i mogućnostima nove geodetske VLBI mreže, i to po nižim troškovima nego što bi to ranije bilo moguće. Neka od tih rješenja su (Niell *et al.* 2005): niže cijene antena, jeftinija disk tehnologija većeg kapaciteta, infrastruktura globalne mreže optičkih vlakana i brza digitalna tehnologija obrade signala.

Služba IVS odgovorna je za koordinaciju između VLBI komponenti i za stvaranje i distribuciju tačnih TRF, CRF i EOP parametara u određenim vremenskim periodima.

4. CILJEVI VLBI SISTEMA

Istovremeno, s postizanjem značajnih unapređenja VLBI tehnologije, službe kosmičke geodezije su postavile nove ciljeve. Zahtjevi sljedeće VLBI generacije mogu se podijeliti na sljedeća tri konkretna cilja (Niell *et al.* 2005):

- tačnost mjerenja položaja od 1 mm i brzine promjene položaja od 1 mm/god. (TRF);
- kontinuirana mjerenja za određivanje EOP; i
- brzo generisanje i distribucija IVS proizvoda.

Ovi ciljevi, zajedno sa izazovima trenutnog statusa globalnog VLBI sistema i mogućnostima skorijeg tehnološkog razvoja, obezbjeđuju motivaciju za unapređenje trenutne i stvaranje nove generacije VLBI sistema.

Kriterijumi koji trebaju biti zadovoljeni su:

- niska cijena ugradnje opreme;
- niska cijena izvođenja radova; i
- brza analiza i dostava konačnih rezultata.

Navedeni zahtjevi, zajedno sa potrebama manjih troškova konstrukcije i izvođenja, traže potpuno sagledavanje svih aspekata geodetske VLBI tehnike, uključujući opremu, procese i opažačke strategije.

5. ZAKLJUČAK

Dugobazisna interferometrija je svemirsko-geodetska tehnika koja se može koristiti veoma efikasno u geodetske svrhe. Obezbjeđuje subcentimetarsku tačnost u određivanju položaja individualnih stanica, omogućavajući izvođenje veoma tačnih mjerenja i opažanja na velikim udaljenostima, koja se vrše redovno tokom većeg vremenskog raspona, koristeći nenamjenske objekte koji su lakši i jeftiniji za održavanje.

Postizanje dugoročne tačnosti od 1 mm ili bolje, izazovan je zadatak. Takav novi sistem bi trebalo da postigne sljedeće:

- smanjenje slučajne komponente greške kašnjenja opažanja, npr. greške mjerenja prije opažanja, stohastičkih osobina časovnika i nemodelovanih varijacija atmosfere;
- smanjenje sistematskih grešaka;
- povećanje broja antena i poboljšanje njihovog geografskog rasporeda;
- smanjenje osjetljivosti spoljne radio-frekvencijske interferencije;
- povećanje gustine opažanja, npr. broja opažanja po jedinici vremena;
- razvoj novih opažačkih strategija.

Da bi se postigli zadati ciljevi, potrebno je sagledati sljedeće karakteristike budućeg VLBI sistema:

- dizajniranje novog opažačkog sistema zasnovanog na malim antenama (prečnika 10 do 12 m), koje bi bile jeftinije i veće pokretljivosti;
- optimalne i praktične frekvencije opažanja;
- uključivanje postojećih antena;

- modernizacija VLBI sistema za prikupljanje podataka u smislu veće stabilnosti i pouzdanosti, širi opseg, manje cijene;
- prenos podataka kombinacijom brzih mreža i disk sistema sa visokom stopom prenosa podataka (e-VLBI);
- nove opažačke strategije;
- automatizacija opažanja, daljinsko praćenje;
- moguće dogradnje korelatora ili formiranje novog sistema korelacije;
- poboljšanja modela i strategija za analizu podataka;
- automatizacija i pojednostavljenje kompletnog sistema analize i obrade podataka.

Svi ovi ciljevi mogu se sprovesti postepeno u kombinaciji sa starim sistemima kako bi se opažanja i mjerenja održala kontinuiranim. Na taj način, povećali bi se kvalitet i preciznost novih mjerenja, skratilo vrijeme opažanja i smanjili troškovi postavljanja i održavanja opreme i izvođenja radova.

LITERATURA

[1] Brouwer, F.J.J. (1985). On the Principles, Assumptions and Methods of Geodetic Very Long Baseline Interferometry. Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series, Vol. 7, No. 4.

[2] Campbell, J., Nothnagel, A. & Vennebusch, M. (2002). Measuring Crustal Deformation in Europe by High Precision Geodetic VLBI. Proceedings of the 6th European VLBI Network Symposium Ros, E., Porcas, R.W., Lobanov, A.P., & Zensus, J.A. (eds.) June 25th-28th 2002, Bonn, Germany, 5-8.

[3] Natlačen, D. & Rojko, I. (2013). Tehnike vesoljske in satelitske geodezije. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Magistrski študijski program Geodezija in geoinformatika.

[4] Недељковић, З. и Секулић, А. (2015). Концепт просторних координатних система, њихово дефинисање и реализација као предуслов у геопросторним применама. Гласник Српског географског друштва, XCV, 4, Београд, 77-102.

[5] Niell, A., Whitney, A., Petrachenko, B., Schlüter, W., Vandenberg, N., Hase, H., Koyama, Y., Ma, C., Schuh, H. & Tuccari, G. (2005). VLBI2010: Current and Future Requirements for Geodetic VLBI Systems. Report of Working Group 3 to the IVS Directing Board.

[6] Plank, L. (2014). VLBI satellite tracking for the realization of frame ties. Technische Universität Wien. Vienna University of Technology. GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN. Heft Nr. 95. Department für Geodäsie und Geoinformation, Höhere Geodäsie. Austria.

[7] Snyder, J. (1987). Map Projections – A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Supersedes USGS Bulletin 1532. United States Government Printing Office, Washington.

[8] Sušić, Z. (2014). Geodinamička analiza pomeranja Zemljine kore regionalnog karaktera. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.

[9] Schuh, H. & Behrend, D. (2012). VLBI: A Fascinating Technique for Geodesy and Astrometry. Journal of Geodynamics, 61, 68-80.

[10] Schuh, H. & Böhm, J. (2013). Very Long Baseline Interferometry for Geodesy and Astrometry. In: Xu, G. ed. Sciences of Geodesy II, Innovations and Future Developments, Springer Verlag, 339-376.

[11] Тодорић, Г., Васић, Д. и Васиљевић, С. (2016). Примјена VLBI технике при рачунању помјерања континенталних плоча. XII Међународна научно-стручна конференција САВРЕМЕНА ТЕОРИЈА И ПРАКСА У ГРАДИТЕЉСТВУ. Зборник радова. Бања Лука. 389-396.

[12] Врачарић, К. и Алексић, И. (2007). Практична геодезија. Прво издање. Савез геодета Србије. Београд.

[13] ERD: www.evlbi.org, juni 2017.

[14] ERD: http://ivscc.gsfc.nasa.gov./index.html, juni 2017.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

UTICAJ PARAMETARA RAZLIČITIH ELIPSOIDA NA TRANSFORMACIJE GEODETSKIH KOORDINATA

INFLUENCE OF PARAMETERS OF DIFFERENT ELLIPSOIDS ON GEODETIC COORDINATES TRANSFORMATION

ALEKSANDAR ILIĆ[1], ZORAN SRDIĆ[2], SLAVIŠA TATOMIROVIĆ[3]

[1] Ministarstvo odbrane Republike Srbije, aleksandar.ilic@mod.gov.rs
[2] Vojnogeografski institut, zoran.srdic@vs.rs
[3] Vojnogeografski institut, slavisa.tatomirovic@vs.rs

Rezime: *Podaci o prostoru su osnova svakog GIS-a a merni-kvantitativni aspekt podataka o prostoru se utvrđuje matematičkom dimenzijom. U ovom radu, prikazan je matematički aparat za transformaciju geodetskih koordinata. Korišćenjem približnih formula za transformaciju geodetskih koordinata ispitan je uticaj promene parametara elipsoida prilikom transformacije geodetskih koordinata za teritoriju Srbije.*

Ključne reči: *Geodetske koordinate, Transformacija koordinata, Parametri elipsoida.*

Abstract: *Space data are the basis of each GIS and the quantitative aspect of space data is determined by the mathematical dimension. In this paper, a mathematical apparatus for the transformation of geodetic coordinates is shown. Using the approximate formulas for the transformation of geodetic coordinates, the influence of changing the ellipsoid parameters during the transformation of geodetic coordinates for the territory of Serbia was examined.*

Keywords: *Geodetic coordinates, Coordinate transformation, Ellipsoid parameters.*

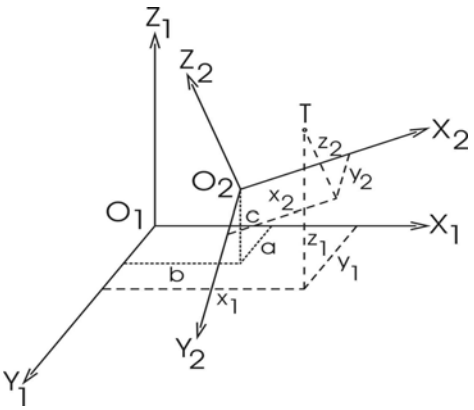
1. UVOD

Prostorni podatak u GIS-u je svaki podatak koji ima svoje prostorno određenje, bilo koordinatama, adresom ili opisno-atributima. Koordinatni sistem je matematička osnova svake baze prostornih podataka. Koordinatni sistem je definisan imenom, jedinicama koje koristi, smerom i redosledom osa, a čini ga skup uslovljenih fiksnih linija koje služe za jednoznačno određivanje položaja tačke u ravni, na matematički zadanoj krivoj površi ili u prostoru uopšte. Sam položaj tačke se izražava linijskim, uglovnim ili linijsko uglovnim veličinama – koordinatama u odnosu na koordinatni početak koji se postavlja u preseku odgovarajućih koordinatnih linija ili ravni. U geodetskom koordinatnom sistemu položaj tačke je definisan geodetskim koordinatama na površi rotacionog elipsoida.

2. OPŠTE REŠENJE TRANSFORMACIJE KOORDINATA

Opšte rešenje transformacije koordinata iz jednog u drugi pravougli prostorni koordinatni sistem pored moguće promene razmera obuhvata još dve operacije, translaciju i rotaciju, pri čemu redosled operacija nije bitan.

Za realizaciju transformacije koordinata (Slika 1) potrebno je poznavati koordinate koordinatnog početka novog koordinatnog sistema u izvornom sistemu i obrnuto, a to su a-apscisa, b- ordinata i c- aplikata tačke O_2 u izvornom sistemu x_1,y_1,z_1. Pored toga potrebno je poznavati i uglove rotacije koje svaka od osa novog sistema zaklapa sa osama izvornog koordinatnog sistema. Za uglove rotacije obično se koriste oznake odgovarajućih koordinatnih osa ($x_2x_1,y_2y_1,z_2z_1,\ldots$). Kada je reč o prostornom pravouglom koordinatnom sistemu uglova rotacije ima devet, ali je dovoljno poznavati bilo koje tri vrednosti dok se ostale određuju iz potrebnih uslova.



Slika 1: Transformacije koordinata između dva pravougla prostorna koordinatna sistema

Obeležimo li sa x_1,y_1,z_1 - koordinate neke proizvoljne tačke T u izvornom koordinatnom sistemu, a sa x_2,y_2,z_2 - njene koordinate u novom sistemu, jednačine transformacije su:

$$\begin{aligned} x_1 &= a + x_2\cos(x_2x_1) + y_2\cos(y_2x_1) + z_2\cos(z_2x_1), \\ y_1 &= b + x_2\cos(x_2y_1) + y_2\cos(y_2y_1) + z_2\cos(z_2y_1), \\ z_1 &= c + x_2\cos(x_2z_1) + y_2\cos(y_2z_1) + z_2\cos(z_2z_1), \end{aligned} \tag{2.1}$$

i obrnuto:

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1-a)\cos(x_1x_2) + (y_1-b)\cos(y_1x_2) + (z_1-c)\cos(z_1x_2), \\ y_2 &= (x_1-a)\cos(x_1y_2) + (y_1-b)\cos(y_1y_2) + (z_1-c)\cos(z_1y_2), \\ z_2 &= (x_1-a)\cos(x_1z_2) + (y_1-b)\cos(y_1z_2) + (z_1-c)\cos(z_1z_2). \end{aligned} \tag{2.2}$$

Koeficijenti u jednačinama (2.1) i (2.2) se uzimaju sukcesivno i predstavljaju kosinuse ugla rotacije koje svaka od koordinatnih osa izvornog sistema zaklapa sa onom koordinatnom osom novog sistema koja odgovara koordinati koja se neposredno računa.

3. TRANSFORMACIJA GEODETSKIH KOORDINATA

U geodetskom koordinatnom sistemu položaj tačke na površi elipsoida je zadan pravouglim prostornim koordinatama (x,y,z) ili geodetskim koordinatama (φ,λ,h). Geodetske trodimenzionalne koordinate su trodimenzionalne polarne koordinate. Orijentacija lokalnog (referenc) elipsoida određuje se azimutom početne strane (α_0). Koordinate neke tačke na elipsoidu (φ_i,λ_i) i azimut (α_i) neke strane u istoj tački izračavaju se u opštem vidu kao funkcije:

$$\begin{aligned} \varphi_i &= f_1(\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0, S_0, a_0, \mu), \\ \lambda_i &= f_2(\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0, S_0, a_0, \mu), \\ \alpha_i &= f_3(\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0, S_0, a_0, \mu), \end{aligned} \tag{3.1}$$

gde su elementi:

φ_0,λ_0 –koordinate fundamentalne tačke sistema (mreže),
α_0 – azimut početne strane,
S_0 – faktor razmere mreže (zadana dužina početne strane),
a – velika poluosa referenc elipsoida,
μ - spljoštenost referenc elipsoida.

Veličine φ_0,λ_0 i α_0 se nazivaju elementi položaja i orijentacije a odnose se na početnu tačku sistema, odnosno na pomak koordinatnog početka (φ_0,λ_0) i rotaciju koordinatnih osa (α_0). Dalje računanje koordinata predstavlja, uslovno rečeno, „prenošenje" elemenata φ_0,λ_0 i α_0 iz fundamentalne tačke na bilo koju tačku mreže (sistema) uz korišćenje podataka uglovnih i linijskih merenja u mreži triangulacije, redukovanih na

površ referenc elipsoida. Naravno, svaka promena bilo kojeg od gornjih šest elemenata izaziva odgovarajuće diferencijalne promene koordinata φ_i, λ_i i azimuta α_i. Za računanje ovih promena, odnosno za transformaciju geodetskih (elipsoidnih) koordinata, koriste se diferencijalne jednačine geodetske linije čiji je opšti oblik:

$$
\begin{aligned}
d\varphi_i &= \frac{\partial f_1}{\partial \varphi} d\varphi_0 + \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} d\lambda_0 + \frac{\partial f_1}{\partial \alpha} d\alpha_0 + \frac{\partial f_1}{\partial S} dS_0 + \frac{\partial f_1}{\partial a} da + \frac{\partial f_1}{\partial \mu} d\mu, \\
d\lambda_i &= \frac{\partial f_2}{\partial \varphi} d\varphi_0 + \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} d\lambda_0 + \frac{\partial f_2}{\partial \alpha} d\alpha_0 + \frac{\partial f_2}{\partial S} dS_0 + \frac{\partial f_2}{\partial a} da + \frac{\partial f_2}{\partial \mu} d\mu, \\
d\alpha_i &= \frac{\partial f_3}{\partial \varphi} d\varphi_0 + \frac{\partial f_3}{\partial \lambda} d\lambda_0 + \frac{\partial f_3}{\partial \alpha} d\alpha_0 + \frac{\partial f_3}{\partial S} dS_0 + \frac{\partial f_3}{\partial a} da + \frac{\partial f_3}{\partial \mu} d\mu.
\end{aligned}
\tag{3.2}
$$

Polazeći od ovih jednačina može se doći do konačnih izraza za računanje diferencijalnih promena $d\varphi_i$, $d\lambda_i$, i azimutne rotacije $d\alpha_i$, u proizvoljnoj tački, koje nastaju zbog promene podataka za početnu (fundamentalnu) tačku, kao i zbog promena ostalih karakteristika sistema (linijskih elemenata razmere, velike poluose i spljoštenosti elipsoida).

Jednačine za transformaciju geodetskih koordinata iz jednog sistema u drugi su:

$$
\begin{aligned}
d\varphi_i'' &= d\varphi_0 + A(\varphi_i - \varphi_0)'' + B(\lambda_i - \lambda_0)'' + C(\varphi_i - \varphi_0)''(\lambda_i - \lambda_0)'' + D(\lambda_i - \lambda_0)''^2 + \\
&\quad + L(\varphi_i - \varphi_0)'' + M(\varphi_i - \varphi_0)'' \sin\frac{\varphi_i + \varphi_0}{2} + N(\lambda_i - \lambda_0)''^2, \\
d\lambda_i'' &= d\lambda_0 + E(\varphi_i - \varphi_0)'' + F(\lambda_i - \lambda_0)'' + G(\varphi_i - \varphi_0)''^2 + H(\varphi_i - \varphi_0)''(\lambda_i - \lambda_0)'' + \\
&\quad + I(\lambda_i - \lambda_0)''^2 + O(\lambda_i - \lambda_0)'' + P(\lambda_i - \lambda_0)'' \sec\varphi_i + Q(\varphi_i - \varphi_0)''(\lambda_i - \lambda_0)'',
\end{aligned}
\tag{3.3}
$$

pri čemu su:

$d\varphi_i$ - diferencijalne promene geodetske latitude usled transformacije,
$d\lambda_i$ - diferencijalne promene geodetske longitude usled transformacije,
(φ_0, λ_0) - koordinate fundamentalne tačke u novom sistemu,
(φ_i, λ_i) - koordinate proizvoljne tačke koja se transformiše u izvornom sistemu,
(φ_0', λ_0') - koordinate fundamentalne tačke izvornog sistema u novom sistemu,
(φ_i', λ_i') - koordinate transformisane tačke u novom sistemu,
$d\varphi_0 = (\varphi_0' - \varphi_0)$,
$d\lambda_0 = (\lambda_0' - \lambda_0)$.

Konstantni koeficijenti u jednačinama (3.3) su:

$$A = \frac{dS_0}{S_2} - 3e_2 \sin\varphi_0 \cos\varphi_0 \frac{1}{\rho''} d\varphi_0,$$

$$B = -\cos\varphi\left(1 + e_1^2 \cos\varphi_0\right)\frac{1}{\rho''} d\lambda_0,$$

$$C = \sin\varphi_0 \frac{1}{\rho''^2} d\alpha_0,$$

$$D = -\frac{1}{\rho''^2} d\alpha_0 - \frac{1}{4}\sin 2\varphi_0 \frac{dS_0}{S_1},$$

$$E = \left(1 - e_1^2 \cos^2\varphi_0\right)\sec\varphi_0 \frac{1}{\rho''} d\alpha_0,$$

$$F = \frac{dS_0}{S_1} + \left(tg\,\varphi_0 - e_1^2 \sin\varphi_0 \cos\alpha_0\right)\frac{1}{\rho''} d\varphi_0,$$

$$G = tg\,\varphi_0 \sec\varphi_0 \frac{1}{\rho''^2} d\alpha_0,$$

$$H = \sec^2\varphi_0 + \frac{1}{\rho''^2} d\varphi_0 + tg\,\varphi_0 \frac{dS_0}{S_1},$$

$$I = -\frac{1}{2}\sin\varphi_0 \frac{1}{\rho''^2} d\alpha_0.$$

$$L = \frac{da}{a_1} + \frac{de^2}{\sqrt{1 - e_1^2}},$$

$$M = -\frac{3}{2}\frac{de^2}{\sqrt{1 - e_1^2}},$$

$$N = \frac{1}{2}\sin\varphi_0 \cos\varphi_0 \left(\frac{da}{a_1} + \frac{1}{2}\frac{de^2}{\sqrt{1 - e_1^2}}\sin^2\varphi_0\right)\frac{1}{\rho''},$$

$$O = -\frac{da}{a_1},$$

$$P = -\frac{1}{2}\sin^2\varphi_0 \cos\varphi_0 \frac{de^2}{\sqrt{1 - e_1^2}},$$

$$Q = -tg\varphi_0 \left(\frac{da}{a_1} + \frac{1}{2}\frac{de^2}{\sqrt{1 - e_1^2}}\sin^2\varphi_0\right)\frac{1}{\rho''},$$

pri čemu je:

$da = a_2 - a_1$,

$de^2 = e_2^2 - e_1^2$,

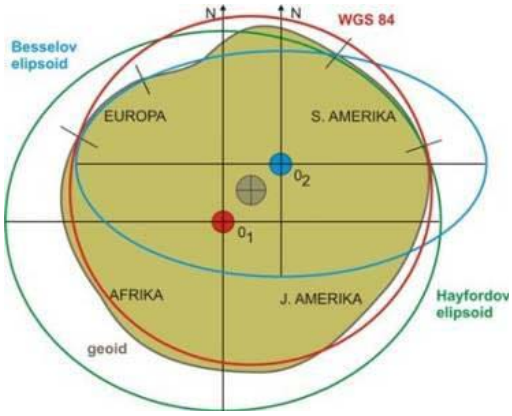
$dS_0 = S_2 - S_1$ - razlika dužine početne strane u novom i izvornom sistemu,

$d\alpha_0 = \alpha_0' - \alpha_0$ - razlika azimuta početne strane u novom i izvornom sistemu.

U konstantnim koeficijentima prve grupe (*A,B,C,D,E,F,G,H,I*)) sadržan je uticaj promene razmera (linijskih elemenata), položaja i orijentacije izvornog i novog sistema, a u koeficijentima druge grupe (*L,M,N,O,P,Q*) uticaj nastao promenama parametara elipsoida. Za samu transformaciju geodetskih koordinata, azimutna rotacija nema poseban značaj. Samo određivanje diferencijalnih promena geodetskih koordinata obuhvata dve faze. U prvoj fazi je potrebno sračunati koeficijente prve i druge grupe, koji se koriste za transformaciju bilo koje tačke u zadatom području (polju). Druga faza je direktna realizacija izraza (3.3), pri čemu se na osnovu vrednosti za konstantne koeficijente i razlika koordinata fundamentalne tačke i tačke koja se transformiše, računaju definitivne vrednosti $d\varphi_i$ i $d\lambda_i$. Jednačine (3.3) obezbeđuju računsku tačnost od ± 0″,01 za područje transformacije od ± 6° po dužini i ± 6° po širini, u odnosu na početnu tačku.

4. UTICAJ PROMENE PARAMETARA ELIPSOIDA

Na tačnost pri transformaciji geodetskih koordinata utiče pored izabranog matematičkog aparata i promena parametara elipsoida, dok značajno manje utiče promena parametara orijentacije i razmere. Sama promena parametara elipsoida, mada zanemarljivo, utiče na orijentaciju sistema. Poznati su parametri za preko 100 različitih elipsoida koji matematički aproksimiraju Zemlju ili neki njen deo (Slika 2).



Slika 2**:** Aproksimacija Zemlje

Geodetske koordinate neke tačke na elipsoidu (φ_i, λ_i) i azimut strane u toj tački (α_i) mogu se izraziti u funkciji (φ_0, λ_0) - koordinata fundamentalne tačke sistema, α_0-azimuta početne strane, s_0 - faktora razmere mreže, a - vrednosti velike poluose referenc elipsoida i μ - spljoštenosti referenc elipsoida:

$$\begin{aligned} \varphi_i &= f_1(\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0, s_0, a, \mu), \\ \lambda_i &= f_2(\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0, s_0, a, \mu). \end{aligned} \tag{4.1}$$

Promena bilo kog od navedenih parametara dovodi do odgovarajućih diferencijalnih promena koordinata (φ_i, λ_i). Za računanje ovih promena koriste se diferencijalne jednačine geodetske linije:

$$\begin{aligned} d\varphi_i &= \frac{\partial f_1}{\partial \varphi} d\varphi_0 + \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} d\lambda_0 + \frac{\partial f_1}{\partial \alpha} d\alpha_0 + \frac{\partial f_1}{\partial s} ds_0 + \frac{\partial f_1}{\partial a} da + \frac{\partial f_1}{d\mu} d\mu, \\ d\lambda_i &= \frac{\partial f_2}{\partial \varphi} d\varphi_0 + \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} d\lambda_0 + \frac{\partial f_2}{\partial \alpha} d\alpha_0 + \frac{\partial f_2}{\partial s} ds_0 + \frac{\partial f_2}{\partial a} da + \frac{\partial f_2}{d\mu} d\mu. \end{aligned} \tag{4.2}$$

Ilustracije radi, ispitan je uticaj promene parametara elipsoida na koordinate φ_i i λ_i, za teritoriju Srbije. Za analizu ovog uticaja se mogu koristiti približne formule za transformaciju koordinata zbog zamene elipsoida koje zadovoljavaju grafičku tačnost u kartografiji:

$$d\varphi'' = (\varphi_0 - \varphi_i)\left[\frac{da}{a} + (3\sin^2\varphi_m - 2)d\mu\right],$$

$$d\lambda'' = (\lambda_0 - \lambda_i)\left(\frac{da}{a} + \sin^2\varphi_m d\mu\right), \qquad (4.3)$$

gde je :

$\frac{da}{a} = \frac{a_{IZ} - a_N}{a_{IZ}}$ - relativna razlika velikih poluosa izvornog i novog elipsoida,

$d\mu = \mu_{IZ} - \mu_N$ - razlika spljoštenosti izvornog i novog elipsoida,

φ_0, λ_0 - koordinate početne (fundamentalne) tačke,

φ_i, λ_i - koordinate zadanih tačaka (i = 1,4).

$\varphi_m = \frac{\varphi_0 + \varphi_i}{2}$.

Pod pretpostavkom da se fundamentalna tačka T_0 nalazi u središtu teritorije Srbije φ_0=44° 35′ 00″ λ_0=21° 00′ 00″, i da su koordinate karakterističnih tačaka:

T_1: φ_1=45° 50′ 00″ λ_1=19° 45′ 00″
T_2: φ_1=43° 20′ 00″ λ_1=19° 45′ 00″
T_3: φ_1=43° 20′ 00″ λ_1=22° 15′ 00″
T_4: φ_1=45° 50′ 00″ λ_1=22° 15′ 00″

dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 1:

Tabela 1: Uticaj promene parametara elipsoida

T_i	diferencijalna promena	E L I P S O I D Besel-Krasovski	Besel-Hejford	Besel-WGS84
1	$d\varphi''$	- 0,39	- 0,65	- 0,50
2		+ 0,36	+ 0,64	+ 0,50
3		+ 0,36	+ 0,64	+ 0,50
4		- 0,39	- 0,65	- 0.50
1	$d\lambda''$	+ 0,81	+ 0,75	+ 0.55
2		+ 0,81	+ 0,75	+ 0.54
3		- 0,81	- 0,75	- 0.54
4		- 0,81	- 0,75	- 0.55
$da=a_2-a_1$ da/a_2 $d\mu=\mu_2-\mu_1$		+ 848 m $+ 1.330\cdot 10^{-4}$ $0.953\cdot 10^{-5}$	+991 m $1.554\cdot 10^{-4}$ $2.420\cdot 10^{-5}$	+ 740 m $1.160\cdot 10^{-4}$ $1.056\cdot 10^{-5}$

Tačke T_1 do T_4 imaju simetričan raspored u odnosu na T_0 što je osnova sistematičnosti i regularnosti dobijenih rezultata. U konkretnom slučaju površi dva elipsoida se dovode do tangiranja u tački T_0 , pri čemu im obrtne ose i ekvatorske ravni zadržavaju paralelan položaj. Apsolutne vrednosti promena rastu sa udaljavanjem od tačke T_0 i dostižu maksimalne iznose u karakterističnim tačkama (T_1 do T_4). Za navedene primere najmanje diferencijalne promene *($d\varphi_i$, $d\lambda_i$)* su pri prelasku sa Beselovog na elipsoid WGS84.

5. ZAKLJUČAK

Prostorni domen se sastoji od neograničenog broja tačaka razdvojenih koordinatama. Najefikasniji princip prostornog određivanja jeste određivanje položaja pomoću koordinata. Jasno je da su najveće promene prilikom transformacije geodetskih koordinata kod onih elipsoida čiji se parametri najviše međusobno razlikuju. Generalno, razlike u parametrima elipsoidima pri transformaciji geodetskih koordinata izazivaju relativno male promene koordinata korespondentnih tačaka.

Zahtevi u pogledu tačnosti transformacije geodetskih koordinata postavljaju se u odnosu na konkretan problem. Načelno, promena parametara elipsoida pri transformaciji geodetskih koordinata ima značaj samo kod krupnorazmernih kartografskih prikaza i preciznih inženjerskih radova. Navedeni zaključak treba posmatrati uslovno imajući u vidu da je stvarna promena koordinata pri transformaciji rezultat svih uticaja u izuzetno kompleksnom procesu računanja odgovarajućih jednačina.

LITERATURA

[1] Božić, B.(1998). Analiza tačnosti transformacije koordinata iz globalnog geocentričnog sistema u državni sistem koordinata, Tema NIR-a, Vojnogeografski institut, Beograd.

[2] Jovanović, V.(1983). Matematička kartografija, Beograd.

[3] Radojčić, S.(2000). Analiza postojeće matematičke osnove i tačnost digitalnih podataka o prostoru, Vojnogeografski institut, Beograd.

[4] Sakari, H.(1997). Instructions for use coordinate transformations between WGS84 and KKJ, Copyright National Land Survey of Finland, Helsinki.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

POTENCIJALNA PRIMENA 3D ŠTAMPE ZA IZRADU RELJEFNIH KARATA U GIS OKRUŽENJU

POTENTIAL USAGE OF 3D PRINTING FOR RELIEF MAP PRODUCTION IN GIS ENVIRONMENT

VIKTOR MARKOVIĆ[1], ANA VUČIĆEVIĆ[2], RADOJE BANKOVIĆ[3]

[1] Vojnogeografski institut, viktor_bre@yahoo.com
[2] Vojnogeografski institut, vucicevic.ana@outlook.com
[3] Vojnogeografski institut, radojebankovic@yahoo.com

Rezime: *Ovim radom su sagledane mogućnosti primene postojećih postupaka 3D štampe za potrebe izrade reljefnih karata u GIS okruženju, kao i izbor optimalnog postupka 3D štampe za izradu reljefnih karata. Prilikom izbora optimalnog postupka 3D štampe za izradu reljefnih karata, u razmatranje su uzete tehničke mogućnosti i ekonomski faktor, kao dominantni kriterijumi koje pojedini postupci 3D štampe moraju da ispune.*

Ključne reči: *Reljefna karta, 3D štampa, GIS, Vojnogeografski institut.*

Abstract: *This paper shows the case study of potential usage of existing 3D printing techniques for purpose of creation of relief maps in GIS environment as well as choice of optimal 3D printing technique for relief map production. During the evaluation of each 3D printing technique for given purpose, technical and economical aspects of each 3D printing technique were taken as dominant.*

Keywords: *Relief map, 3D printing, GIS, Military Geographical Institute.*

1. UVOD

Pored opštegeografskih karata na kojima se reljef Zemljine površi predstavlja uslovno, u dve dimenzije, postoje i reljefne karte koje predstavljaju trodimenzionalni prikaz Zemljine površine. Ove karte omogućavaju posmatraču da reljefne oblike vidi slično njihovom prirodnom izgledu, odnosno da oseća dubinu, kako zbog senki, tako i zbog stereoskopskog efekta koji nastaje prilikom binokularnog posmatranja tela.

Reljefne karte imaju široku primenu. Pre svega, sa njih se brže i lakše mogu sagledati reljefni oblici, kao i ostali sadržaj karte, a zbog trodimenzionalnosti svaki korisnik se jednostavno navikne na njih. Koriste se i kao foto-modeli za izradu tzv. anaglifnih karata.

Može se zaključiti da je osnovni cilj reljefne karte očuvanje opštih karakteristika plastike reljefa prilikom visniske predstave Zemljine površi u smanjenoj veličini. Serijska proizvodnja na plastičnim listovima je dostigla prilično visok nivo, ali još uvek postoji mogućnost daljeg razvoja, kao i otkrivanje novih metoda radi dobijanja još boljih rešenja. Usled prisutnosti tehničkih unapređenja, dolazi do usavršavanja postojećih, kao i primene novih materijala i instrumenata koji bi omogućili automatizaciju rada.

Jedna od relativno novih tehnologija potencijano ima mogućnost da značajno unapredi izradu reljefnih karata. 3D štampa, popularan je naziv za nešto što se naziva aditivna proizvodnja (AM-*Additive Manufacturing*) u odnosi se na različite postupke koji se koriste kako bi se sintetizovali trodimenzionalni objekti (Excell). U aditivnoj proizvodnji, pod kontrolom računara, formiraju se uzastopni slojevi materijala kako bi se kreirao objekat. Ovi objekti mogu biti skoro bilo kog oblika ili geometrije i proizvedeni su iz digitalnog 3D modela ili nekog drugog digitalnog izvora podataka, kao što je fajl aditivne proizvodnje (AMF- *Additive Manufacturing File*).

Ovakav pristup izrade reljefnih karata, pomoću 3D štampe, bi mogao da značajno unapredi izradu reljefnih karata. Sama priroda 3D štampe omogućava dobro uklapanje u GIS (*Geographical Information System*) radno okruženje kakvo postoji u Vojnogeografskom institutu (VGI).

2. KLASIČNE METODE IZRADE RELJEFNIH KARATA

Do sada su se reljefne karte u VGI proizvodile pantografskim postupkom, odavno prevaziđenom tehnologijom. Reljefne karte su se proizvodile, u grubim crtama, na sledeći način.

Sa kreiranog lista karte su se visinske linije (izohipse), pantografski prenosile na plastičnu podlogu formiranu od slojeva plastike, međusobno ručno slepljenih, gde je svaki sloj plastike predstavljao identičnu razliku u visinskom smislu. Nakon pantografisanja visinske predstave, sledilo je odlivanje negativ slike pantografskog modela koja je nakon odlivanja morala biti dodatno obrađena, jer je sam pantografski model imao oštre ivice na svakom urezanom sloju koji se ne sme pojaviti na kreiranoj reljefnoj karti. Nakon dorade negativ modela (kreiran od gipsa), od njega se, takođe livenjem, kreira pozitiv model koji će služiti za kreiranje reljefne karte. Pozitiv model se pre izlivanja dodatno pojačava metalnim šipkama u osnovi, kako bi izdržao pritisak tokom procesa vakumisanja. Izliveni pozitiv model se potom buši kako bi se moglo vršiti vakumisanje lista reljefne karte (vakuum pumpa se nalazi ispod pozitiv modela) i postavlja se u vakuum presu. Prethodno je na tankoj, izdržljivoj plastici, ofset mašinom odštampana sama karta od koje će se kreirati reljefna karta. Na vakuum presi se iznad pozitiv modela postavlja odštampana plastika koja se zagreva kako bi u procesu vakumisanja bolje prijanjala na pozitiv model i samim tim bolje oslikala reljef samog terena. Kada plastika dostigne potrebnu temperaturu, uključuje se vakuum pumpa koja povlači plastiku na pozitiv model. Plastika se ugiba prema pozitiv modelu i kreira reljefnu kartu.

Sve faze ovog procesa su zavisile od iskustva operatera, jer je ceo proces izvodio jedan čovek u sistemu bez formalizacije. Sve navedeno navodi na zaključak da je ceo postupak veoma skup, kabast i osetljiv dok poseban problem predstavlja nabavka plastike na kojoj se štampa. Naime, u pitanju su mali tiraži, odnosno, potrebne su male količine plastike, koja vremenom degradira svoja svojstva, tako da se ne isplati nabavka velikih količina, a male količine nisu isplative dobavljačima.

3. 3D ŠTAMPA KAO POTENCIJALNI METOD ZA IZRADU RELJEFNIH KARATA

Pantografski postupak, po kome je do sada radio VGI je zasnovan na analognoj karti, međutim, prelaskom VGI na GIS podržanu kartografiju, odnosno na geoprostornu bazu podataka, kao osnovni proizvod, otvara se mogućnost štampe modela direktno iz baze podataka ili drugih digitalnih izvora (DOF-Digitalni OrtoFoto), gde do izražaja može da dođe 3D štampa. Ovim korakom bi se premostio prostor od gotovo pola veka i bukvalno preskočila CNC (*Computer Numerical Control*) tehnologija kojom su druge, razvijenije zemlje, u međuvremenu štampale reljefne karte.

Po pitanju 3D štampe geoprostornih podataka, u svetu su već napravljeni prvi koraci, sa snažnim osloncem na GIS tehnologiju, kojom je ovladao i VGI. Obzirom da je tehnologija 3D štampe relativno nova, a još novije praktične primene iste, gotovo je nemoguće doći do tehničkih detalja i specifikacija vezanih za izradu reljefnih karata procesom 3D štampe sprovedenih od strane pojedinih nacionalnih kartografskih agencija, iako su pojedine pružile fizički dokaz da su te karte i kreirale.

U proteklih 40 godina pojavio se veći broj izuma na polju 3D štamparskih postupaka i razvijeno je više modela štampača. Danas je komercijalno dostupan veliki broj 3D štamparskih uređaja koji koriste različite postupke štampe. Glavna razlika između pojedinih postupaka ogleda se u načinu na koji se slojevi odlažu prilikom kreiranja objekta i u materijalima koji se koriste. Postupci 3D štampe koji su razmatrani u okviru ovog rada u zavisnosti od tipa procesa, tehnike štampe i materijala sa kojima je moguće štampanje su:

- Modelovanje spajanjem deponovanog materijala (FDM/FFF - *Fused Deposition Modeling/Fused Filament Fabrication*),
- Selektivno lasersko sinterovanje (SLS - *Selective Laser Sintering*),
- Direktno lasersko sinterovanje metala (DMLS - *Direct Metal Laser Sintering*)
- Topljenje elektronskim zracima (EBM - *Electron-Beam Melting*)
- Stereolitografija (SLA - *StereoLithography Apparatus*),
- Digitalno procesiranje svetlošću (DLP - *Digital Light Processing*),
- Kontinualna proizvodnja iz tečnosti (CLIP - *Continuous Liquid Interface Production*),
- Mlazno nanošenje materijala (*Multijet* i *Polyjet*),
- Mlazno nanošenje veziva (*Binder Jetting*) i
- Laminiranje selektivnim odlaganjem (SDL/LOM - *Selective Deposition Lamination/Laminated Object Manufacturing*).

U radu su razmatrana dva pristupa problemu štampe reljefnih karata postupcima 3D štampe:

- Direktna štampa reljefnih karata i
- Štampa pozitiv modela nad kojima se vrši vakuumiranje.

3.1. Direktna štampa reljefnih karata

Direktna štampa reljefnih karata podrazumeva kreiranje reljefne karte direktno u 3D štampaču nakon čega ne bi bila neophodna naknadna obrada, odnosno, reljefna karta bi mogla da se koristi kao gotov proizvod neposredno nakon izlaska iz 3D štampača. Kako bi se ovo postiglo, tehnika 3D štampe kao i sam štamparski uređaj mora da ispuni određene uslove koji se ogledaju u:

- Maksimalnim mogućim dimenzijama modela koji može da se kreira u 3D štampaču (neophodno je 700x500x150 mm), (A)
- Mogućnost štampe sa plastikom/fotopolimerima, (B)
- Mogućnost štampe u boji, (C)
- Mogućnost štampe boje u rezoluciji od najmanje 254 tpi, (D)
- Ceni 3D štamparskog uređaja i (E)
- Ceni i dostupnosti repromaterijala. (F)

Prikaz pogodnosti 3D postupaka za izradu reljefnih karata dat je u tabeli 1.

Tabela 1: Prikaz pogodnosti 3D postupaka za izradu reljefnih karata

	A	B	C	D	E	F
FDM	-	+	-	-	+	+
SLS	-	+	-	-	+	-
DMLS	+	-	-	-	-	-
EBM	+	-	-	-	-	-
SLA	-	+	-	-	+	+
DLP	-	+	-	-	+	+
CLIP	-	+	-	-	+	+
Multijet i Polyjet	-	+	+	+	-	+
Binder Jetting	-	+	+	+	-	+
SDL	-	-	+	+	+	+

Budući da je osnovni kriterijum za izbor 3D tehnike mogućnost štampe sa plastikom/fotopolimerima, tehnike koje dolaze u obzir su FDM, SLS, SLA, DLP, CLIP, *Multijet* i *Polyjet* i *Binder Jetting*. Drugi eliminišući faktor predstavlja mogućnost štampe u boji nakon čega se izbor tehnike 3D štampe smanjuje na *Multijet* i *Polyjet* i *Binder Jetting*. Kada se uzmu u obzir i moguće dimenzije štampe, nijedna od trenutno postojećih tehnika ne odgovara u potpunosti direktnoj štampi reljefnih karata.

U ovom pristupu, iako nije moguće štampati ceo list reljefne karte odjednom, ipak je teoretski moguće odštampati manje segmente reljefne karte i potom ih spojiti u celinu. Na tržištu postoje štampači koji imaju mogućnost štampe sa 360 000 boja, sa rezolucijom štampe od 600x600x1800 tpi. Nedostatak ovih 3D štampača je još uvek visoka cena i potencijalno otežana nabavka repromaterijala.

3.2. Štampa pozitiv modela nad kojima se vrši vakuumisanje

Štampa pozitiv modela nad kojima se vrši vakuumisanje podrazumeva izradu modela terena (reljefnog modela) od čvrstog materijala nad kojim se u daljem postupku izrade reljefnih karata vrši vakuumisanje 2D karte odštampane na termoplastici (sastav termoplastike na kojoj je odštampana karta je 75% PVC - polivinil hlorid i 25% ABS - akrilonitril butadien stiren, sa debljinom od 0,3 mm).

Kako bi bilo moguće štampati pozitiv modele za izradu reljefnih karata nekim od postupaka 3D štampe, sam postupak 3D štampe i uređaj koji bi se koristio bi morali da ispune sledeće uslove:

- Mogućnost štampe sa papirom, plastikom, keramikom ili metalom, (A)
- Maksimalnim mogućim dimenzijama modela koji može da se kreira u 3D štampaču (neophodno je 700x500x150 mm), (B)
- Cena 3D štamparskog uređaja i (C)
- Cena i dostupnost repromaterijala. (D)

Prikaz pogodnosti 3D tehnika za izradu pozitiv modela reljefnih karata dat je u tabeli 2.

Iz tabele 2. se može uočiti da nijedan od razmatranih postupaka ne zadovoljava u potpunosti sve zahtevane kriterijume. Međutim, postupak koji se može izdvojiti je SDL postupak 3D štampe.

Ova tehnika se izdvaja pre svega po ceni u odnosu na ostale tehnike 3D štampe. Repromaterijal je lako dostupan i jeftin kancelarijski papir dok su cene samih 3D štamparskih uređaja takođe relativno pristupačne.

Tabela 2: Prikaz pogodnosti 3D tehnika za izradu pozitiv modela reljefnih karata

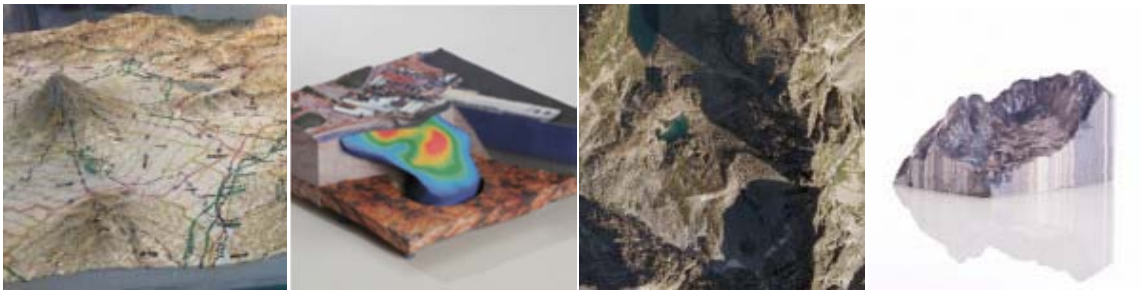
	A	B	C	D
FDM	+	-	+	+
SLS	+	-	+	-
DMLS	+	+	-	-
EBM	+	+	-	-
SLA	+	-	+	+
DLP	+	-	+	+
CLIP	+	-	+	+
Multijet i Polyjet	+	-	-	+
Binder Jetting	+	-	-	+
SDL	+	-	+	+

Problem koji se takođe javlja i u ovom slučaju su maksimalne dimenzije modela koji se može odštampati. Naime, generalno u ovoj metodi se mogu štampati modeli dimenzija oko 250x160x150mm. Prema rečima proizvođača 3D štampača koji štampaju ovim postupkom, moguće dimenzije štampe je moguće povećati izradom posebne konstrukcije za ulaganje papira i same komore u kojoj se vrši štampa. Ovo rešenje bi svakako u mnogome doprinelo mogućnosti štampe pozitiv modela nad kojima se vrši vakumisanje (možda čak i štampu čitavog modela odjednom), ali bi to svakako podiglo cenu samom 3D uređaju (veoma moguće i drastično).

Trenutno bi bila moguća segmentna štampa pozitiv modela i njihovo spajanje u ceo model.

Na tržištu postoje 3D štamparski uređaji koji su namenjeni za korišćenje uz GIS tehnologiju. Ti uređaji poseduju mogućnost štampe u boji i odgovarajuću rezoluciju.

Ovim postupkom se takođe mogu kreirati 3D modeli za prikazivanje, edukaciju i dekorativni modeli, pre svega zbog boja koje se mogu odštampati ovim uređajima. Takođe bi potencijalno bilo moguće spojiti više modela manjeg formata u veći model koji bi mogao prikazati prostorne karakteristike terena, što već ima primenu u vojne svrhe. Neki od modela kreirani SDL postupkom 3D štampe su prikazani na slici 1.



Slika 1: Neki od modela kreirani SDL postupkom 3D štampe (mcortechnologies.com)

Budući da 3D modeli kreirani SDL postupkom, poseduju osobine i čvrstinu drveta (nije provereno u praksi), sama čvrstina ovako kreiranog modela ne bi trebala da predstavlja problem kao ni bušenje spojenog pozitiv modela i vakuumiranje lista karte odštampanog na plastici ofset štampom. To bi uveliko ubrzalo proces izrade pozitiv modela reljefnih karata, međutim, ovo je samo u teoriji. U praksi bi to značilo da reljefni pozitiv modeli spojeni/slepljeni zajedno, na mestima spoja mogu da izdrže zateznu silu veću od 400Pa, kolika je snaga vakuum pumpe i da budu dovoljno izdržljivi i trajni da se može odštampati 200-300 reljefnih karata, kao i da ne degradiraju tokom vremena jer se može javiti potreba za dopunskim tiražom reljefnih karata nakom 1-2 godine.

4. ZAKLJUČAK

Upotreba plastike za štampu pozitiv modela nad kojima se vrši vakuumisanje i reljefnih karata je još uvek veoma ograničena. Iako 3D štampa na plastici podržava mnogo veće formate štampe od SDL postupka, konkretno, neki modeli za SLA tehniku mogu da štampaju modele dimenzija do 210x70x80 cm (i.materialise.com), do ovih modela štampača je teško doći na tržištu, i štampaju u samo jednoj boji. Razlog za to je što su mnoge kompanije preuzele razvijena rešenja od open-source zajednice, i konstruisale sopstvene 3D štampače na kojima vrše isključivo uslužnu štampu. Takođe, još jedan problem predstavlja sama debljina sloja koji može da se odštampa u plastici, jer minimalna debljina koju može da ima 3D odštampana karta je 1-3 mm dok je standardna debljina plastike za reljefne karte 0,3mm. To bi značilo da bi reljefne karte koje bi bile direktno 3D odštampane bile do 9 puta teže od reljefnih karata kreiranih klasičnom metodom, što za zidna izdanja reljefnih karata može da predstavlja ozbiljan problem. Takođe je i problem što štampa na plastici ima jako mali broj mogućnosti po pitanju boje, što svakako ne odgovara izradi karata. Potencijana primena 3D štampe na plastici bi bila takođe izrada pozitiv modela na kojima se vrši vakuumisanje odštampanog lista karte, ali za ovu primenu se SDL tehnika, odnosno štampa na papiru pokazuje kao superiornija.

Direktna 3D štampa (segmentna) reljefnih karata trenutno jeste moguća, ali nije isplativa.

Trenutno optimalno rešenje za unapređenje postupka kreiranja reljefnih karata bi bilo 3D štampa pozitiv modela nad kojima se vrši vakumisanje. U ovu svrhu se kao najekonomičniji i najpraktičniji izdvaja SDL postupak.

3D štampači koji štampaju SDL postupkom imaju odgovarajuću cenu štamparskog uređaja uz takođe nisku cenu repromaterijala. Neki modeli koji štamšaju SDL postupkom 3D štampe imaju mogućnost štampe u boji, koja, iako nema direktan uticaj na kreiranje pozitiv modela nad kojima se vrši vakuumisanje, može da omogući proširenje asortimana proizvoda koje nudi VGI. Štampa u boji reljefnih modela (trodimenzionalne predstave terena nevezana za dimenzije i područje koje zahvata pojedinačni list karte) bi predstavljao novi proizvod koji bi imao potencijalnu primenu u vojne svrhe za potrebe procene terena na lokalnom nivou i predstavljao bi vizuelno dopadljiv proizvod koji bi bio interesantan širem krugu korisnika u građanstvu.

LITERATURA

1. mcortechnologies.com: http: //mcortechnologies.com
2. reprappro.com: https: //reprappro.com
3. stratasys.com: http: //www.stratasys.com
4. i.materialise.com: http://www.i.materialise.com
5. *3dprinters*. 3ders.org: http: //www.3ders.org/pricecompare/3dprinters
6. *3d-printing-technologies*. sculpteo.com: https: //www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies
7. Excell, J. *The rise of additive manufacturing.* www.theengineer.co.uk: https://www.theengineer.co.uk/issues/24-may-2010/the-rise-of-additive-manufacturing/
8. Marković, V. (2016). Analiza postupka 3D štampe za vizuelizaciju prostornih podataka za vojne potrebe. *Specijalistički rad* . Beograd.
9. Marković, V., & Živković, P. (2016). 3D printing challenges and perspective. *GETID&teh 2016.* Travnik: Association for research, education and development.
10. *What is 3d printing*. 3dprinting.com: http: //3dprinting.com/what-is-3d-printing

2017

HEURISTIKE

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PARALELIZACIJA METAHEURISTIČKIH METODA[1]

PARALLELIZATION OF METAHEURISTIC METHODS

TATJANA DAVIDOVIĆ[1]

[1] Matematički institut SANU, tanjad@mi.sanu.ac.rs

Rezime: *Metaheuristike su stohastički algoritmi koji se koriste u optimizaciji. One predstavljaju moćne alate za rešavanje složenih optimizacionih problema. Međutim, za probleme iz realnog života ponekad nije moguće dobiti efikasno rešenje u "zadovoljavajućem" vremenu rada ovih algoritama. Paralelizacija je jedan od načina za prevazilaženje ovog problema. Cilj ovog rada je da predstavi trenutno stanje u istraživanjima, glavne ideje i strategije koje se koriste u paralelizaciji i da istakne opšte principe koji važe za sve tipove metaheuristika.*

Ključne reči: *Problemi optimizacije, Kvalitetna rešenja, Metaheuristike, Paralelno izvršavanje, Višeprocesorski sistemi.*

Abstract: *Meta-heuristics are stochastic algorithms widely used in optimization. They are known as powerful tools for dealing with hard optimization problems. However, sometimes real life instances cannot be treated efficiently in "reasonable" execution time. Parallelization is a way to deal with this problem. The objective of this paper is to present a state-of-the-art survey of the main parallelization ideas and strategies, and to discuss general design principles applicable to all meta-heuristic classes.*

Keywords: *Optimization problems, High quality solutions, Metaheuristics, Parallel execution, Multiprocessors.*

1. UVOD

Osnovni cilj paralelnog izvršavanja je da ubrza izračunavanja deleći ih između više procesora. Sa stanovišta dizajniranja algoritama, jednostavne strategije paralelizacije koriste parcijalni poredak među koracima algoritma, tj. postojanje skupa operacija koje se mogu izvršiti paralelno (istovremeno, nezavisno) bez uticaja na metodu rešavanja i na dobijeno rešenje. One koriste „prirodni" paralelizam koji već postoji u algoritmu.

Razvoj paralelnih algoritama u današnje vreme je postao veoma uobičajena istraživačka tema. Višeprocesorski sistemi najrazličitijih vrsta predstavljaju standardnu opremu naučnih i obrazovnih institucija. Svi savremeni računari imaju više procesora među svojim komponentama, bilo da su u pitanju višejezgarni procesori (multicore sistemi) ili grafičke kartice (Graphic Processing Units, GPU). Sa druge strane, akademske GRID i CLOUD mreže pružaju mogućnost korišćenja standardnih višeprocesorskih sistema (tzv. multicomputer systems) koji se sastoje od identičnih (homogenih) ili različitih (heterogenih) jednoprocesorskih računara povezanih na proizvoljan način ili u neku zadatu topologiju.

Algoritmi koji se izvršavaju nad neregularnim strukturama podataka, kao što su grafovi, ili nad podacima sa jakim zavisnostima među različitim operacijama generalno su teški su za paralelizaciju. Metaheuristike takođe spadaju u klasu algoritama koji se teško paralelizuju, ali ima interesantnih rezultata iz te oblasti i novih izazova. Iako su na mnogim primerima primene pokazale svoju efikasnost, prilikom rešavanja nekih složenijih NP-teških problema ili problema velikih mogu se pojaviti teškoće u pronalaženju kvalitetnih rešenja (Alba *et al*. 2013, Smutnicki and Božejko 2015). Jedan od načina da se ove teškoće prevaziđu je da se originalne metaheurističke metode paralelizuju i da se njihovim distribuiranim izvršavanjem na više procesora ostvari bar jedan od mogućih ciljeva: ubrzavanje neophodnih izračunavanja (tj. dobijanje rešenja za kraće vreme izvršavanja metode) ili popravljanje kvaliteta rešenja (tj. dobijanje boljeg rešenja u istom ili kraćem vremenu izvršavanja).

U radovima Crainic and Hail (2005), Crainic and Toulouse (2010) i Alba *et al.* (2013) data je generalna slika o stanju u oblasti paralelnih metaheuristika. Prikazano je dotadašnje stanje u razvoju paralelnih

[1] Rad je finansiran od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja republike Srbije preko projekata OI174033 i F159

metaheuristika, njihovoj primeni i dobijenim rezultatima, ali i diskusija uopštenih principa za dizajn i implementaciju koji se mogu primeniti na većinu metaheuristika. Opisano je i kako su ti principi primenjeni na metaheuristike koje koriste jedno rešenje i metaheuristike bazirane ne populaciji rešenja. Konkretno, razmatrani su primeri genetskih algoritama, tabu pretraživanja i simuliranog kaljenja.

U proteklih nekoliko godina intenzivno se radilo na paralelizaciji metaheurističkih metoda, pa je cilj ovog rada da izdvoji nove trendove i rezultate. Rad je organizovan u 6 odeljaka. U narednom odeljku opisana je klasifikacija strategija za paralelizaciju metaheuristika kao i karakteristike najrasprostranjenijih višeprocesorskih sistema. Odeljak 3 bavi se upoređivanjem različitih paralelnih verzija metaheuristika. Najčešće paralelne implementacije metaheuristika koje koriste jedno rešenje opisane su u odeljku 4, dok su odgovarajuće implementacije populacionih metaheuristika sumirane u odeljku 5. Zaključna razmatranja sadržana su u odeljku 6.

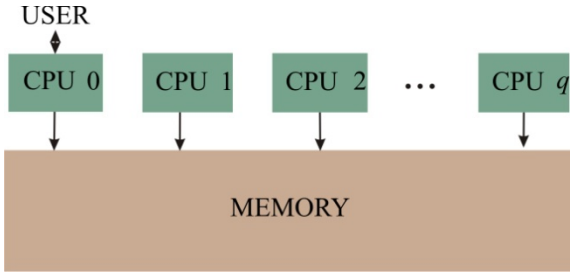
2. PARALELIZACIJA METAHEURISTIKA

Glavni cilj paralelizacije je da se ubrzaju izračunavanja potrebna da se reši određeni problem, angažovanjem više procesora i deljenjem ukupne količine posla između njih. Za stohastičke algoritme, metaheuristike u ovom slučaju, paralelizacijom je moguće postići nekoliko ciljeva (Talbi, 2009): ubrzava se pretraga (tj. skraćuje vreme za pretragu); poboljšava se kvalitet dobijenih rešenja (omogućavanjem pretraživanja kroz različite delove prostora rešenja); poboljšava se robusnost (u smislu rešavanja različitih problema optimizacije i različitih instanci datog problema na efikasan način, robusnost se takođe može meriti u smislu osetljivosti metaheuristike na vrednosti parametara); i omogućava se rešavanje instanci velikih dimenzija (tj. rešavanje primera koji su preveliki za sekvencijalne računare). Moguće je ostvariti i kombinaciju ciljeva, tj. paralelno izvršavanje može da obezbedi efikasno pretraživanje kroz različite regione prostora rešenja i tako dovede do poboljšanja kvaliteta konačnog rešenja u kratkom vremenu izvršavanja.

Na paralelizaciji metaheurističkih metoda radilo se intenzivno u proteklih dvadesetak godina (videti pregledne radove Alba *et al.* 2013 i Crainic *et al.* 2014), bilo da su u pitanju teorijski aspekti paralelizacije ili praktične primene paralelnih metaheuristika na različite probleme optimizacije. Jedan od prvih radova koji uvodi klasifikaciju strategija paralelizacije je Verhoven and Aarts (1995). Ova klasifikacija, zasnovana je na kontroli procesa pretrage i razlikuje dve osnovne grupe strategija: centralno kontrolisane (Single walk) i distribuirane (Multiple walk). Detaljnija klasifikacija, koja uzima u obzir komunikacione aspekte i parametre pretrage, predložena je u Crainic and Hail (2005), a u ovom radu biće ukratko opisana.

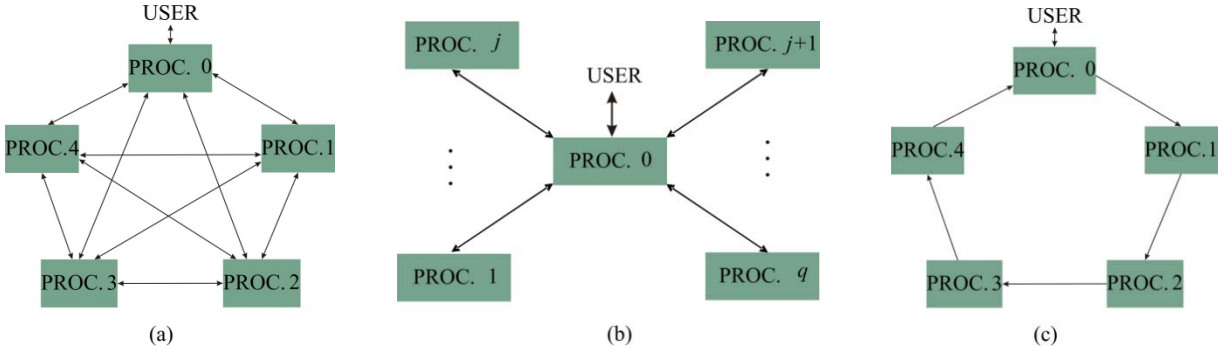
Kao što je već rečeno, klasifikacija strategija za paralelizaciju metaheurističkih metoda predložena u Crainic and Hail (2005) razmatra tri glavna aspekta paralelnog izvršavanja: kontrolu pretrage, komunikacije i parametre pretrage. Takav pristup rezultirao je 3D-taksonomijom sa poljima $\mathcal{X}/\mathcal{Y}/\mathcal{Z}$. Polje $\mathcal{X}$ koristi se da označi tip kontrole pretrage, koja može biti centralizovana (u daljem tekstu: 1C) ili distribuirana (u daljem tekstu: pC). $\mathcal{Y}$ opisuje dva aspekta u komunikaciji između paralelnih procesa: sinhronizaciju i vrste podataka koji se razmenjuju. Postoje četiri mogućnosti za vrednost polja $\mathcal{Y}$: stroga sinhrona komunikacija (u daljem tekstu: RS), sinhrona sa modifikovanjem prenesenih podataka (u daljem tekstu: KS), asinhrona (u daljem tekstu: C) i asinhrona sa učenjem iz prenetih podataka (u daljem tekstu: KC). Polje $\mathcal{Z}$ determiniše deo pretrage koji izvršava svaki od paralelnih procesa na osnovu početne tačke i metode pretrage. Svaki proces može da počne od iste ili različite početne tačke, a pri tome procesi mogu da koriste istu ili različite metode pretraživanja. Zbog toga, postoje četiri kombinacije vrednosti za $\mathcal{Z}$: ista početna tačka-ista metoda pretrage (u daljem tekstu: SPSS), ista početna tačka-drugačije metode (u daljem tekstu: SPDS), različite početne tačke-ista metoda pretrage (u daljem tekstu: MPSS), različite početne tačke-različite metode pretraživanja (u daljem tekstu: MPDS). Ove vrednosti dovoljne su da opišu bilo koju strategiju paralelizacije, ali konkretna implementacija svake od opisanih strategija može da varira, zavisno od karakteristika višeprocesorskog sistema na kome će se paralelna verzija algoritma izvršavati kao i problema koji se rešava.

Kada je reč o ciljnoj arhitekturi za paralelno izvršavanje metaheurističkih metoda, bitni aspekti su komunikacija i sinhronizacija između paralelnih procesa (Blaise, 2012). Kada se koriste sistemi sa deljenom memorijom (slika 1) nema fzičkog transfera podataka između procesora. Svi procesori mogu da pristupe zajedničkoj (deljenoj) memoriji i da u nju upisuju ili iz nje čitaju podatke. U tom slučaju, sinhronizacija koraka izvršavanja predstavlja glavnu teškoću. Naime, pošto može doći do simultanog pristupa zajedničkoj memoriji, važno je da se osigura da se relevantne informacije pravilno koriste. Preciznije, važno je da se obezbedi da se dati podatak ne može pročitati pre nego što se njegova vrednost upiše na odgovarajuću memorijsku lokaciju, kao i da ne bude prepisan pre nego što su ga svi zainteresovani procesori preuzeli. Barijere i semafori su najčešće kontrolne promenljive koje se koriste za sinhronizaciju procesa.



Slika 1: Višeprocesorski sistem sa deljenom memorijom

U slučaju višeprocesorskih sistema kod kojih procesori imaju privatne memorije, komunikacija se sastoji u razmeni informacija između različitih procesora. Svaki procesor u svojoj lokalnoj memoriji čuva kopije podataka relevantnih za procese koji se na njemu izvršavaju. Dakle, potrebno je da se izvrši fizički prenos podataka iz memorije jednog procesora (pošiljaoca) u memoriju drugog (primaoca) da bi primalac bio svestan promena nastalih u vrednostima odgovarajućih podataka. Komunikacioni kanali (linkovi) spadaju u ulazno/izlazne komponente koje su po pravilu najsporiji delovi računara. Zato uvek treba imati na umu da prenos podataka izaziva komunikaciona kašnjenja koja mogu značajno pogoršati performanse paralelnog izvršavanja. Minimizacija komunikacionih kašnjenja može se postići smanjivanjem količine i/ili učestalosti razmene podataka, kao i izborom najpodesnije topologije veza među procesorima (slika 2). potpuno povezana arhitektura (slika 2a) je najpoželjnija, ali je teška za implementaciju kad broj procesora raste. Najčešće korišćena topologija višeprocesorskih sistema (zvezdasta arhitektura) ilustrovana je na slici 2b. Ona je najlakša za realizaciju, a komunikaciono kašnjenje nije preveliko jer je rastojanje između bilo koja dva procesora najviše dva. Koristi se za implementaciju centralno koordinisanih paralelnih aplikacija ili asinhronih kooperativnih izvršavanja koja zahtevaju globalnu memoriju. Prstenasta arhitektura se sve češće koristi za distribuirano (necentralizovano) izvršavanje koje ne podrazumeva globalnu memoriju. Osnovne prednosti i mane raznih višeprocesorskih topologija analizirane su u Cvetković and Davidović 2011 korišćenjem spektralne teorije grafova.



Slika 2: Različite arhitekture višeprocesorskih sistema sa privatnim memorijama

Pregledom novije literature, može se zaključiti da su višeprocesorski sistemi sa privatnim memorijama rasprostranjeniji od sistema sa deljenom memorijom. Razlog tome je najverovatnije jednostavnost primene kao i veća skalabilnost. Multikompjuteri se javljaju i u savremenim višeprocesorskim sistemima koji sadrže hiljade procesora umreženih u GRID i CLOUD sisteme (Teijeiro et al. 2016). Nedavno su se pojavili paralelni sistemi zasnovani na velikom broju jednostavnih procesorskih elemenata koji omogućavaju izvršavanje ogromnog broja jednostavnih operacija. To su tzv. GPU procesori, prvenstveno namenjeni za obradu slika, ali su se pokazali korisnima i za druge aplikacije. U poslednje vreme postali su popularni i za razvoj paralelnih metaheuristika (Alba *et al*. 2013). Osnovna ideja kod GPU sistema je da se glavni algoritam izvršava na centralnoj procesorskoj jedinici, a složena izračunavanja se po SIMD modelu dele na GPU i izvršavaju paralelno.

3. MERE PERFORMANSI ZA PARALELNE METAHEURISTIKE

Metaheuristike najčešće predstavljaju stohastičke procese pretrage. To znači da se uzastopnim izvršavanjem odgovarajuće metode nad istim skupom podataka ne dobijaju uvek ista rešenja. Dodatno, paralelizacijom se menja struktura samog algoritma, pa se tako može dobiti potpuno nova metoda pretraživanja (Alba 2005). U

takvoj situaciji, strandardne mere performasi paralelnih algoritama (ubrzanje i efikasnost) više ne mogu da se koriste, pa je važno pravilno definisati nove mere za procenu kvaliteta paralelnih verzija metaheuristika. Najčešće korišćena mera je kombinacija kvaliteta rešenja i vremena potrebnog da se konačno rešenje pronađe (Alba 2005, Crainic and Toulouse 2010). Naime, kod većine paralelnih implementacija, rešenja koja se dobiju sekvencijalnom i paralelnom verzijom metaheurističke metode razlikuju se po kvalitetu ali i strukturi. Dakle, osnovni cilj paralelizacije je da se dobije metoda koja nadmašuje sekvencijalnu verziju kako u pogledu kvaliteta rešenja tako i u računskoj efikasnost. Preciznije, smatramo da je paralelna varijanta uspešnija ukoliko generiše rešenje istog kvaliteta za kraće vreme ili ukoliko u istom vremenu izvršavanja dobije kvalitetnije rešenje. To se formalno može opisati sledećom formulom

$$U_q = S\frac{f_a}{f_q} \tag{1}$$

pri čemu S predstavlja faktor standardnog ubrzanja algoritma dobijenog paralelizacijom, f_1 je vrednost funkcije cilja koja odgovara sekvencijalnom izvršavanju, a f_q vrednost funkcije cilja koja se dobija paralelnim izvršavanjem na q procesora.

Ovako definisana mera će skalirati faktor ubrzanja imajući na umu uštede koje se odnose ne kvalitet rešenja: ako je rešenje poboljšano, faktor ubrzanja množi se koeficijentom čija vrednost je veća od jedan (značenje toga je da je paralelno izvršavanje još efikasnije, tj. korisnije); sa druge strane, ako je kvalitet rešenja degradiran, smanjuje se efikasnost paralelnog izvršavanja (jer će se faktor ubrzanja množiti brojem koji je manji od jedinice). Ako se sekvencijalnim i paralelnim izvršavanjem dobija isto rešenje, mera efikasnosti paralelnog izvršavanja svodi se na faktor ubrzanja.

4. PARALELIZACIJA METAHEURISTIKA KOJE KORISTE JEDNO REŠENJE

Metaheuristike koje koriste jedno rešenje najčešće se sastoje iz dva koraka: neke verzije lokalnog pretraživanja (koje im omogućava da popravljaju početno rešenje) i perturbacije rešenja (kojom se izlazi iz zamke lokalnog optimuma). Tipični primeri ovih metaheuristika su simulirano kaljenje (SA), tabu pretraživanje (TS), metoda promenljivih okolina (VNS) i adaptivna procedura slučajne pohlepne pretrage (GRASP) (Gendreau and Potvin 2010).

Paralelizacija ovih metoda može se realizovati na raznim nivoima. Najjednostavnije je da se okoline podele na odgovarajući broj delova i da svaki procesor pretražuje u svom delu okoline. Takva paralelizacija spada u kategoriju 1C/*/SPSS, pri čemu se srednje polje popunjava sa RS ili C zavisno od toga da li se pretraživanje vrši sinhrono ili asinhrono. To je paralelizacija niskog nivoa sa fino granulisanim modulima koji se paralelno izvršavaju. Viši nivo granulacije postiže se kada se paralelizuju pretraživanja različitih okolina. Naime, svaki od paralelnih procesora može da izvrši perturbacioni korak i lokalnu pretragu iz dobijenog rešenja. Time se implementira strategija 1C/*/MPSS sa istim mogućnostima za vrednosti srednjeg polja kao i u prethodnom slučaju. U oba ova slučaja sličnosti sekvencijalne i paralelnih verzija metode su velike. Preciznije, izvršava se uvek ista varijanta metaheurističke metode samo su neki koraci izmešani. Najuopštenija paralelizacija visokog nivoa je kada se paralelno izvršavaju različite varijante sekvencijalne metaheurističke metode. One se najčešće razlikuju po vrednosti parametara, a svakako po vrednosti seed-a, parametra koji se koristi za inicijalizaciju generatora slučajnih brojeva. Izabrane varijante metode mogu se izvršavati nezavisno, što simulira multistart varijantu i samo skraćuje vreme potrebno za izvršavanje svih restarta. Mnogo kompleksnije, ali i korisnije je kada postoji interakcija (kooperacija) između tih varijanti, tj. razmena relevantnih informacija kojom se pretraga usmerava na okoline kvalitetnijih rešenja. U najširem smislu, ova paralelizacija klasifikuje se kao pC/C/MPDS.

Tabela 1: Strategije za paralelizaciju VNS metode

Strategija	Klasifikacija	Detalji
IVNS	pC/RS/MPDS	nezavisna izvršavanja različitih VNS metoda, centralizovano
PVNSPLS	1C/C/SPSS	fino granulisano: par. LS u sekv. VNS
DVNS	1C/C/MPSS	srednja granulacija: paralelno SH+LS za različito *k* isto LS
CVNS1	pC/C/SPDS	srednja granulacija: paralelno SH+LS za različito *k* i različito LS
CVNS2	pC/C/SPDS	krupna granulacija: iteracije se izvršavaju paralelno
CVNSring	pC/C/MPDS	paralelno SH+LS za različito *k* i različito LS, ne-centralizovano

VNS metoda predložena je prvi put u radu Mladenović and Hansen 1997. Uspešno je primenjena na mnoge optimizacione probleme (Hansen *et al*. 2010). Paralelizacija VNS metode razmatrana je u mnogim radovima, neke implementacije sumirane su u Crainic *et al*. 2014. U radovima Davidović and Crainic 2012, Davidović and Crainic 2013, Davidović and Crainic 2015 predložene su strategije sumirane u tabeli 1.

5. PARALELIZACIJA METAHEURISTIKA ZASNOVANIH NA POPULACIJI REŠENJA

Metaheuristike koje rade sa populacijom rešenja su stohastičke tehnike pretraživanja koje su uspešno primenjene na razne složene probleme optimizacije. Ove metode su iterativne tehnike koje koriste stohastičke operatore varijacije (transformacije) nad skupom jedinki (populacijom). Svaka jedinka u populaciji je kodirana verzija dopustivog rešenja. Funkcija evaluacije definiše vrednost prilagođenosti (fitnesa) kojom se za svaku jedinku određuje kvalitet odgovarajućeg rešenja. Poznate metaheurističke metode iz ove grupe su evolucioni algoritmi (EA), optimizacija kolonijom mrava (ACO), optimizacija rojem čestica (PSO), diferencijalna evolucija (DE), kolonija veštačkih pčela (ABC) i optimizacija kolonijom pčela (BCO)) (Gendreau and Potvin 2010).

Ova vrsta metaheuristika sadrži visok stepen inherentnog paralelizma jer su izračunavanja vezana za svaku jedinku u populaciji nezavisna (Alba *et al*. 2013). Time se ostvaruje paralelizacija niskog nivoa (fine granulacije) pri čemu se paralelno računaju, na primer, operatori varijacije i vrednosti za funkciju prilagođenosti svake jedinke. Opisana paralelizacija spada u kategoriju 1C/RS/MPSS. Drugi nivo paralelizacije, iz kategorije pC/RS/MPSS, postiže se deljenjem populacije na nekoliko pod-populacija koje se na različitim procesorima tretiraju nezavisno do nekog određenog momenta u kome dolazi do komunikacije među procesorima i razmene (migracije) jedinki. Proces obrade pod-populacija i komunikacija smenjuje se do zadovoljenja nekog kriterijuma zaustavljanja. Ovaj način paralelizacije u literaturi je poznat kao model ostrva (islands model). Naravno, paralelizacija visokog nivoa pC/C/MPDS (kada se istovremeno izvršavaju različite sekvencijalne varijante date metaheurističke metode) i ovde je moguća.

BCO metoda predložena je prvi put u radu Lučić and Teodorović 2001. Uspešno je primenjena na mnoge optimizacione probleme (Davidović 2015, Teodorović *et al*. 2015). Paralelizacija BCO metode razmatrana je u radovima Davidović *et al.* 2011 i Davidović *et al.* 2013, a predložene strategije sumirane su u tabeli 2.

Tabela 2: Strategije za paralelizaciju BCO metode

Name	Description	Classification	Details
DBCO	same BCO, different seed	pC/RS/MPSS	reduced stopping criteria
BBCO	same BCO, different seed	pC/RS/MPSS	reduced number of bees
MBCO	different BCO, independent	pC/RS/MPDS	different B and NC
CBCO1	cooperative synchronous	pC/KS/MPDS	fixed number of communications
CBCO2	cooperative synchronous	pC/KS/MPDS	variable number of communications
GBCO1	cooperative asynchronous	pC/C/MPDS	centralized communications
GBCO2	cooperative asynchronous	pC/C/MPDS	non-centralized communications

6. ZAKLJUČAK

U radu su opisane specifičnosti vezane za paralelizaciju metahurističkih metoda. Ilustrovane su neke od najpopularnijih višeprocesorskih arhitektura koje se koriste za paralelno izvršavanje metaheuristika i sumirane su paralelne implementacije VNS i BCO metoda koje su rezultat istraživanja autora. U skorije vreme su se pojavili i računari zasnovani na protoku podataka (Data Flow), tzv. FPGA (Field Programmable Gate Arrays), kod kojih je algoritam ukodiran u hardver tako da se istovremeno izvršavaju različite instrukcije nad različitim podacima. Paralelizacija metaheuristika za ovakve sisteme još uvek je veliki izazov za istraživače.

LITERATURA

[1] Alba E. (Ed.) (2005). *Parallel metaheuristics: a new class of algorithms*. John Wiley & Sons.

[2] Alba, E., Luque, G., & Nesmachnow, S., (2013). Parallel metaheuristics: recent advances and new trends. *International Transactions in Operational Research*, *20*(1), pp.1-48.

[3] Blaise, B., (2012). *Introduction to Parallel Computing*, https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/.

[4] Crainic, T. G., & Hail, N. (2005). Parallel meta-heuristics applications. In E. Alba (Ed.), *Parallel Metaheuristics: A new Class of Algorithms* (pp. 447-494). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[5] Crainic, T. G., & Toulouse, M. (2010). Parallel Meta-heuristics. In M. Gendreau, J.Y. Potvin (Eds.), *Handbook of metaheuristics* (pp. 497-541). USA: Springer Science+Business Media.

[6] Crainic, T.G., Davidovic, T., & Ramljak, D., 2014. Designing parallel meta-heuristic methods. *High Performance and Cloud Computing in Science and Education, IGI-Global*, pp.260-280.

[7] Cvetković, D., & Davidović, T. (2011). Multiprocessor Interconnection Networks. In D. Cvetković, I. Gutman (Eds), *Selected Topics on Applications of Graph Spectra, second edition, Vol: 14(22)*, (pp. 35-62). Serbia: Mathematical Institute SANU.

[8] Davidović, T., & Crainic, T. G. (2012). MPI parallelization of variable neighborhood search. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, *39*, 241-248.

[9] Davidović, T., & Crainic, T. G. (2013a). Parallelization strategies for variable neighborhood search, CIRRELT-2013-47, 1-32. https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2013-47.pdf

[10] Davidović, T., & Crainic, T.G., 2015. Parallel local search to schedule communicating tasks on identical processors. *Parallel Computing*, *48*, pp.1-14.

[11] Davidović, T., Jakšić, T., Ramljak, D., Šelmić, M., & Teodorović, D. (2013). Parallelization strategies for bee colony optimization based on message passing communication protocol. *Optimization: A Journal of Mathematical Programming and Operations Research, 62(8)*, 1113-1142.

[12] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., & Teodorović, D. (2011). MPI parallelization of bee colony optimization, In *1st International Symposium & 10th Balkan Conference on Operational Research, Vol: 2*, (pp. 193-200). Thessaloniki: University of Macedonia, Economic and Social Sciences.

[13] Davidović, T., Teodorović, D. , & Šelmić, M. (2015). Bee colony optimization Part I: The algorithm overview. *Yugoslav Journal of Operations Research*, *25*(1) 33-56.

[14] Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2010). *Handbook of metaheuristics*, (second edition) Springer.

[15] Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J., & Moreno-Pérez, J. A. (2010). Variable neighbourhood search. In M. Gendreau, J-Y. Potvin (Eds.), *Handbook of Metaheuristics,* (second edition) (pp. 61-86). USA: Springer Science+Business Media.

[16] Lučić, P., & Teodorović, D. (2001). Bee system: modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence. *In Preprints of the TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis* (pp. 441-445). Sao Miguel, Azores Islands.

[17] Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. Computers & Operations Research, *24(11)*, 1097-1100.

[18] Smutnicki, C., & Bożejko, W., (2015), February. Parallel and Distributed Metaheuristics. In *International Conference on Computer Aided Systems Theory* (pp. 72-79). Springer International Publishing.

[19] Talbi, E.-G. (Ed.) (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

[20] Teijeiro, D., Pardo, X.C., González, P., Banga, J.R., & Doallo, R., 2016. Towards cloud-based parallel metaheuristics: A case study in computational biology with Differential Evolution and Spark. *International Journal of High Performance Computing Applications*, p.1094342016679011.

[21] Teodorović, D., Šelmić, M., & Davidović, T. (2015). Bee Colony Optimization-part II: The application survey. *Yugoslav Journal of Operations Research*, *25*(2), 185-219.

[22] Verhoeven, M. G. A., & Aarts, E. H. L. (1995). Parallel local search. *Journal of Heuristics*, *1(1)*, 43-65.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

INTEGRACIJA OBNOVLJIVIH IZVORA I OPTIMALNO USMJERAVANJE ENERGIJE

INTEGRATION OF RENEWABLE SOURCES AND OPTIMAL ENERGY GUARANTEE

RAVA FILIPOVIĆ[1]

[1] ORAO a.d., filipovicrava@yahoo.com

Rezime: *U ovom radu je opisan problem maksimalne podjele grafa ponude/potražnje (MPGSD). Postoji sve veće interesovanje za MPGSD zbog njegove bliske veze sa problemima koji se javljaju u oblasti električnih distributivnih sistema, a vezano za optimizaciju obnovljivih energetskih izvora. Za rješavanje ovog optimizacionog problema korištena je kombinacija (hibrid) heuristika, koja obuhvata metode promjenljivih okolina i tabu pretraživanja. Cilj je bio da se integrišu proizvođački kapaciteti na bazi obnovljivih izvora (ponude) i optimalno usmjeri energija potrošačima ili stvore zalihe dobijene električne energije (potražnje). Rješenje ovog problema se može primijeniti na veoma veliki broj realnih problema.*

Ključne riječi: *Obnovljivi izvori energije, Particionisanje grafa, Heuristike.*

Abstract: *This paper describes the problem of maximum division of the supply/demand graph (MPGSD). There is an increasing interest in the MPGSD due to its close connection with the problems that arise in the field of electrical distribution systems, regarding the optimization of renewable energy sources. To solve this optimization problem, a combination (hybrid) heuristics was used, which includes methods of changing environments and tabs of search. The aim was to integrate production capacities based on renewable sources (supply) and optimally direct energy to consumers or create stocks of electricity received (demand). The solution to this problem can be applied to a very large number of real problems.*

Keywords: *Renewable energy sources, Partitioning of graphs, Heuristics.*

1. UVOD

U poslednjih nekoliko godina sve je veće interesovanje za problem maksimalne podjele grafa ponude/potražnje. Razlog tome je bliska povezanost sa električnim distributivnim sistemima, posebno u kontekstu Smart Grids ("pametne mreže"). U ovom istraživanju se rješava problem maksimalne podjele grafa ponude/potražnje MPGSD (maximum partitioning of graphs with supply and demand). Ponude predstavljaju obnovljive izvore[1] energije, a potražnja su potrošaći ili izvori zaliha dobijene električne energije. Fokus je stavljen na podjelu grafa (na bazi obnovljivih izvora) i optimalno usmjeravanje energije potrošaćima ili stvaranje zaliha dobijene električne energije. Smart Grids otvara put za efikasnu integraciju različitih izvora distribuirane proizvodnje, posebno obnovljivih izvora energije. One bi trebalo da olakšaju dovod energije vjetra, solarne i bioenergije.

Za rješavanje problema MPGSD predložene su pohlepne heuristike i hibrid (kombinacija heuristika), koja obuhvata metodu promjenljivih okolina VNS (Variable Neighborhood Search) (Nenad Mladenovic 1997) sa tabu lokalnim pretraživanjem (Fred Glover 1986).

Cilj istraživanja je integracija obnovljivih izvora u proizvodnju električne energije. Tačnije, težište je stavljeno na maksimalnu iskorištenost dobijene energije iz obnovljivih izvora. Pri čemu je motiv održivost energetskih sistema, na bazi obnovljive energije. Iako se obnovljivi izvori energije troše oni se ne iscrpljuju nego se djelimično ili potpuno obnavljaju, u prirodi. Oni su ekološki čisti i ne zagađuju prirodu. Za njih se stvaraju tehnološka rješenja u cilju prelaska sa konvencionalnih energenata na obnovljive izvore energije. Energija, kao jedan od elemenata razvoja društva, čini život održivim. Izvori obnovljive energije su rješenje za mnoge ekološke probleme (emisija štetnih gasova, efekat staklene bašte, globalno zagrijavanje, ...), sa kojima se svijet danas suočava.

Za rješavanje ovog problema korištena je struktura grafa, u kojoj je svaki čvor ili ponuda ili potražnja, a ivice predstavljaju susjede. Što se tiče primjene problema istraživanja, u praksi se prilagodi i proširi koncept podjele grafa ponude/potražnje za problem od interesa.

[1] Obnovljiva energija (skraćenica engl. RES od engl. Renewable energy sources) energija je stvorena iz prirodnih izvora, poput sunčeve svjetlosti, vjetra, kiše, valova i geotermalne toplote koji su obnovljivi (prirodno iznova punjivi).

U postojećoj literaturi glavni fokus istraživanja za MPGSD je bio na teorijskim aspektima problema (Ito et al. 2008, Narayanaswamy and Ramakrishna 2012, Ito et al. 2005, Kawabata and Nishizeki 2013). Jedan smjer ovog istraživanja je bio u pravcu razvijanja metoda za rješavanje problema. Zbog složenosti problema, istraživanje se nastavlja sa fokusom na neke specifične vrste grafova, kao što su drvo strukture (Narayanaswamy and Ramakrishna 2012, Ito et al. 2005, Kawabata and Nishizeki 2013). U zadnje vrijeme istraživanja problema MPGSD najviše je zastupljeno u radovima (R. Jovanovic, A. Bousselham 2014, R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014, R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015) pri čemu su se dobila referentna rješenja (R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014) i (R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015).

2. INTEGRACIJA PONUDE/POTRAŽNJE

2.1. Particionisanje grafa

Graf je predstavljen skupom čvorova (ponude, potražnje) i skupom ivica (relacije odnosa). Skup čvorova se dijeli na dva podskupa čvorova ponude i potražnje. Svaki čvor ima unaprijed definisanu vrijednost, koju nudi ili potražuje. Graf se particioniše na onoliko podgrafova koliko ima čvorova ponude. Čvorovi ponude predstavljaju obnovljive izvore električne energije. Čvorovi potražnje su potrošaći (kuće, zgrade, fabrike, ...) ili su to izvori zaliha dobijene električne energije.

U ovom dijelu istraživanju fokus je stavljen na proširenje podgrafova čvorovima potražnje. Dodavanjem čvorova potražnje treba da se proizvede podgraf, čija je ukupna potražnja jednaka ili manja od njegove ponude. Cilj podjele grafa ponude/potražnje je maksimiziranje ukupne potražnje. Treba napomenuti da je graf predstavljen drvo strukturom[2]. Svaki podgraf sadrži jedan čvor ponude (snabdijevanja). Dodavanjem čvora potražnje podgrafu ponuda se smanjuje za vrijednost težine tog čvora. Ovim podgraf se proširuje. Suma težina čvorova potražnje mora biti manja ili jednaka težini čvora ponude jednog podgrafa. Svaki čvor potražnje u podgrafu mora imati susjeda.

2.2. Pohlepne heuristike

Heuristika je tehnika pronalaženja približnog rješenja. Koriste se u onim slučajevima kada klasične metode ne mogu da nađu tačno rješenje. Cilj heuristike je da se brzo dođe do rješenja, koje je dovoljno dobro za problem koji se rješava. To rješenje ne mora biti nužno najbolje.

Mogućnost proširenja podgrafova istražuje se kroz primjenu pohlepnih heuristika. Pohlepni algoritam smanjujući prostor pretrživanja, smanjuje i vremensku složenost. Naime, pohlepni pristup usmjerava pretraživanje na trenutno najbolje rješenje. Pri čemu treba uzeti u obzir da to rješenje ne mora voditi globalnom optimumu. Zbog toga, pohlepni algoritam ne mora uvijek naći optimalno rješenje, ali je znatno brži od drugih algoritama. Kako se pohlepni algoritam relativno brzo izvršava on omogućava da se drugim strategijama heuristika ili njihovim kombinacijama smanji prostor pretrage rješenja.

2.3. Inicijalna podjela grafa ponude/potražnje

Inicijalna podjela čvorova ponude/potražnje ima za cilj dobijanje početnog rješenja. Na početku algoritma, pohlepnom metodom, se u svaki odvojen prazan podgraf doda čvor ponude. Potom, u najmanje popunjen podgraf, se dodaju neraspoređeni čvorovi potražnje sve dok imaju susjeda u tom podgrafu. Na ovaj način podgrafovi se proširuju čvorovima potražnje. Svaki čvor ponude u podgrafu mora imati susjeda. Suma čvorova potražnje mora biti lakša ili iste težine kao čvor ponude.

Početno rješenje predstavlja particionisan graf u podgrafove ponude/potražnje. Pri čemu su svi čvorovi ponude i neki od čvorova potražnje raspoređeni, po podgrafovima. Pohlepni algoritam, sa ovom strategijom, se relativno brzo izvršava. Dobije se početno rješenje, koje je ujedno i trenutno najbolje rješenje Njemu se pridruži vrijednost funkcije cilja, koja daje informaciju o ukupnoj potražnji podgrafova. Okolina početnog rješenja je osnova za primjenu drugih heuristika ili njihovih kombinacija.

2.4. Profinjenje inicijalnog rješenja

Dobijeno početno rješenje je neophodno za primjenu lokalnog pretraživanja okolina. Pohlepnom tehnikom se nastojao poboljšat kvalitet vrijednosti funkcije cilja. Odnosno, bilo je poželjno popraviti kvalitet potražnje inicijalnog rješenja. Primjenom pohlepne heuristike konstruisane su korekcije. One, u okolini početnog rješenja, rade lokalne popravke.

Prva korekcija (Swap) traži najbolji potez zamjene pozicija susjeda neraspoređenog i raspoređenog čvora. Pri čemu, nelociran čvor potražnje je teži od njegovog lociranog susjeda. Tehnikom najbolje popravke (best improvement) neraspoređen i raspoređen čvor potražnje zamjene mjesta. Ovim vrijednost funkcija cilja se poboljša.

Druga korekcija (Switch) svaki redom raspoređen čvor potražnje zamijeni poziciju sa njegovim neraspoređenim susjedom. Uz uslov, da je nelociran čvor potražnje iste težine kao i njegov lociran susjed. Tehnikom prve popravke (first improvement) lociran i nelociran čvor zamjene mjesta. Vrijednost funkcije cilja ostaje nepromijenjena. Struktura čvorova po podgrafovima se promijeni.

[2] http://mail.ipb.ac. rs/~rakaj/home/graphsd.htm.

Treća korekcija (Expand) proširi najmanje popunjen podgraf. Nakon konstruisanog početnog rješenja, neki od podgrafova su ostali odsječeni od ostatka grafa. Zato, ova heuristika nastoji da, u ranoj fazi algoritma, proširi najmanje popunjen podgraf najtežim raspoređenim čvorom. Da bi se ovaj čvor mogao dodati neophodno je da ima (u najmanje popunjen podgrafu) susjeda. Ova korekcija ne mijenja vrijednost funkcije cilja. Struktura čvorova po podgrafovima se promijeni.

Treba napomenuti da svaki čvor potražnje, kroz ove korekcije, ako promijeni stanje postaje tabu (zabranjen). Isto tako, da bi se čvor uzeo u razmatranje, kroz ove korekcije, ne smije biti tabu. Primjenom ovih korekcija dobilo se kvalitetnije početno rješenje. Ono predstavlja trenutno najbolje rješenje problema podjele ponude/potražnje. Cilj svake ove tehnike je da se proširenjem smanji broj nelociranih čvorova i maksimizira popunjenost podgrafova. Postupkom razmrdavanja okoline trenutno najboljeg rješenja dobije se slučajno rješenje. Kombinacijom heuristika, koje koriste lokalne popravke u okolini slučajnog rješenja, nastoji se poboljšat trenutno najbolje rješenje.

3. LOKALNO PRETRAŽIVANJE OKOLINA

Lokalno pretraživanje je metoda iterativnog poboljšavanja kod koje je pretraživanje ograničeno na unaprijed definisanu okolinu rješenja u potrazi za lokalnim (u ovom problemu istraživanja) maksimumom. Metoda promjenljivih okolina (Nenad Mladenovic 1997) je metaheuristika[3] bazirana na principu lokalnog pretraživanja. Lokalno pretraživanje je vrlo često korišćena vrsta heurističkih algoritama. Počinje od nekog početnog rješenja. Nad njim, u svakoj iteraciji, radi niz lokalnih promjena. One poboljšavaju kvalitet rješenja, dok se ne pronađe lokalni optimum.

U algoritmima lokalne pretrage pomak na novo rješenje se može uraditi na neki od sledećih načina:

- Slučajno poboljšanje (random improvement) novo rješenje se bira slučajnim odabirom boljeg rješenja iz susjedstva.
- Prvo poboljšanje (first improvement) nekim redoslijedom se pretražuje susjedstvo i prvo bolje rješenje postaje novo rješenje.
- Najbolje poboljšanje (best improvement) nekim redoslijedom se pretražuje susjedstvo i najbolje rješenje u cijelom susjedstvu postaje novo rješenje.

U ovom istraživanju korišteni su postupci prve i najbolje popravke. Strategija prve popravke se zaustavlja kada se dobije prvo bolje rješenje. Ova tehnika se koristi iz razloga da se ne troši suviše mnogo vremena (kako se ne bi istraživala čitava okolina slučajnog rješenja). Ona smanjuje složenost lokalnog pretraživanja. Lokalno pretraživanje sa strategijom najbolje popravke traži najbolji potez (rješenje) u prostoru pretraživanja. Ova strategija se koristi u slučaju kada se pretražuje čitava okolina slučajnog rješenja.

Osnovni nedostatak lokalnog pretraživanja je što se zaustavlja pri nailasku prvog lokalnog optimuma. Da bi se to izbjeglo, u okviru metode promjenljivih okolina korištena je tehnika tabu lokalnog pretraživanja. Ona predstavlja hibrid strategija prve i najbolje popravke. Na ovaj način se nastoje izbjeći zamke lokalnog optimuma, pri čemu se radi intenzifikacija i diverzifikacija pretraživanja. Ovim pretraživanje će se koncentrisati u okolinama u kojima se očekuje poboljšanje ili usmjeriti pretraga ka novim, neistraženim regionima prostora rješenja. Čime se povećava šansa nalaženja globalnog maksimuma.

Za rješavanje problema podjele grafa ponude/potražnje korištena je metoda promjenljivih okolina sa lokalnim tabu pretraživanjem. Opisani koraci algoritma mogu se ilustrovati pseudokodom, na sledeći način:

Inicializacija. Izabrati početno rješenje $x \in X$;
definisati kriterijum zaustavljanja; STOP = 0.
Ponavljaj
1. $t = t_{min}$;
2. **Ponavljaj**
(a) *Razmrdavanje*. Generisati slučajno rješenje x' u t-toj okolini od x, ($x' \in Nt(x)$);
(b) *Hibridno Lokalno pretraživanje*. Primjeniti neku proceduru lokalnog pretraživanja počev od x';
označiti sa x" dobijeni lokalni maksimum;
(c) *Provjera rješenja*. Ako je lokalni maksimum bolji od trenutnog maksimuma,
preći u to rješenje (x = x");
nastaviti od novog početnog rješenja u okolini $N1(t = t_{min})$; inače preći u sledeću okolinu, tj. $t = t + t_{step}$.
(d) *Provjera završetka*. Ako je zadovoljen kriterijum zaustavljanja, STOP = 1.
dok nije $t == t_{max}$ ili STOP == 1;
dok nije STOP == 1;

4. RJEŠENJE PROBLEMA

Proučavan problem podjele grafa ponude/potražnje se može definisati na sledeći način: Dat je skup čvorova i matrica susjedstva. Skup čine čvorovi ponude (obnovljivi izvori) i potražnje (potrošaći ili izvori zaliha). Rasporediti skup čvorova ponude i potražnje u podgrafove, tako da se maksimizira ukupna potražnja.

3 Metaheuristike su opšti okvir za izgradnju heuristika za rješavanje problema kombinatorne i globalne optimizacije.

4.1. Postupak razmrdavanja

U okolini trenutno najboljeg rješenja bira se slučajno rješenje. Za to se koristi tehnika razmrdavanja. Ona mijenja strukturu inicijalnog (početnog) rješenja, tako što u njegovoj okolini generiše slučajno rješenje. Slučajno rješenje se dobije na slučajan način u okolini početnog rješenja, da bi se izbjeglo ponovno vraćanje u istu tačku. Cilj razmrdavanja je izbjegavanje lokalnog optimuma. Za potrebe ove tehnike razvijena su tri postupka:

- Dodavanje (Insert) slučajno odabranog nelociranog čvora u slučajno odabran podgraf.
- Zamjena (Swap) pozicija jednog slučajno odabranog lociranog i jednog slučajno odabranog nelociranog čvora.
- Uklanjanje (Remove) slučajno odabranog lociranog čvora.

U okviru postupka razmrdavanja radi se i narušavanje dopustivosti podgrafa. Tako što se na slučajan način odabere nelociran ili lociran čvor i pokuša dodat u slučajno odabran podgraf. Neophodan uslov je da čvor ima konekciju, odnosno susjeda u slučajno odabranom podgrafu. Postupak razmrdavanja se radi t puta. Pri čemu se svaki put radi jedna od slučajno odabranih tehnika (Insert, Swap, Remove) i postupak narušavanja dopustivosti. Veličina parametra t odgovara veličini indeksa okoline. Na kraju pamti se dobijeno slučajno rješenje i njegova vrijednost funkcije cilja. Rješenje dobijeno postupkom razmrdavanja je neophodno za postupak lokalnog pretraživanja, čime će se nastojat popravit trenutno najbolje rješenje.

4.2. Hibridno lokalno pretraživanje

U okolini slučajnog rješenja prvo se nastoji lokalnom popravkom obnovit narušena dopustivost. Pri čemu svaki čvor, iz podgrafa sa narušenom dopustivosti, zamijeni mjesto sa svojim lociranim ili nelociranim susjedima. Da bi se obnovila dopustivost čvorovi, iz podgrafa sa narušenom dopustivosti, se premještaju u podgrafove, u kojima imaju susjeda. U slučaju da nije obnovljena dopustivost, onda se iz narušenog podgrafa raspoređeni čvorovi premjeste u skup neraspoređenih. Za svaki od ovih slučajeva obnavljanje dopustivosti se izvodi sa čvorovima potražnje čija konekcija to dozvoljava u podgrafu. Treba napomenuti da, za potrebe obnavljanja dopustivosti podgrafova, svi raspoređeni čvorovi potražnje postaju neraspoređeni.

U okviru metode promjenljivih okolina radi se lokalno tabu pretraživanje tehnikom najbolje popravke sve dok je broj iteracija bez popravke manji od unaprijed definisane vrijednosti. Pri čemu svaki čvor, koji se razmatra nije tabu (zabranjen). Najbolji potez se traži provjerom Insert neraspoređenog čvora i Swap zamjenom lakšeg raspoređenog sa težim neraspoređenim. Pri čemu se odabere najbolji potez i uradi zamjena pozicija čvora (čvorova). Tehnikom lokalnog tabu pretraživanja traži se najbolji potez, kako bi se poboljšalo trenutno rješenje. U ovom slučaju tabu je čvor (čvorovi) potražnje, koji je promijenio (su promijenili) stanje. Za njega se pamti broj tekuće iteracije (u kojoj je promijenio stanje). Čvor je zabranjen sve dok je broj zadnje upamćene tekuće iteracije (kada je zadnji put napravio promjenu) veći od tekuće iteracije umanjene za dužinu tabu liste (unaprijed definisana vrijednost).

Dobijena vrijednost funkcije cilja trenutnog rješenja se poredi sa vrijednosti funkcije cilja trenutno najboljeg rješenja. Ako je bolja, vrijednost funkcije cilja trenutnog rješenja postaje trenutno najbolja. Trenutno rješenje postaje trenutno najbolje. Postupak razmrdavanja se nastavlja u okolini trenutno najboljeg rješenja. Parametar okoline t uzima najmanju moguću vrijednost t_{min} okoline. U suprotnom, vrijednost funkcije cilja trenutno najboljeg rješenja ostaje nepromijenjena. Parametar okoline t se poveća $t = t + t_{step}$. Pretraživanje se nastavlja u sledećoj okolini.

Uslovi završetka VNS algoritma su bili da je dostignuta vrijednost normalizovane greške manja od 1 ili maksimalna popunjenost podgrafova. Treba napomenuti, da hibridno lokalno pretraživanje uz primjenu lokalnih korekcija (Swap, Switch, Expand) poboljšava i daje kvalitetnija rješenja.

4.3. Testni rezultati

U ovom dijelu su predstavljeni testni rezultati problema podjele grafa ponude/potražnje, primjenom metode promjenljivih okolina sa tabu lokalnim pretraživanjem. Rezultati testnih eksperimenata, ovog istraživanja, na grafu (R. Jovanovic 2013) drvo strukture su predstavljeni u Tabeli 1 (zadnja kolona). Oni se porede sa prosječnim normalizovanim greškama poznatih optimalnih rješenja (u odnosu na refrentna rješenja) (R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014) i (R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015). Preciznije, za svaku testnu instancu (za svaku veličinu grafa) (R. Jovanovic 2013) normalizovana greška se izračunava prema formuli (optimalno-nađeno)/optimalno*100. Optimalno je suma potražnji (vrijednosti funkcije cilja) svih 40 varijanti generisane testne instance (R. Jovanovic 2013). Nađeno predstavlja sumu potražnji (vrijednosti funkcije cilja) svih 40 varijanti testne instance VNS istraživanja.

U Tabeli 1 prva kolona predstavlja veličinu testnih instanci ponude/potražnje (supplay/demand). Zadnja kolona, u Tabeli 1, odnosi se na dobijene testne rezultate VNS istraživanja. Preostale kolone, u Tabeli 1, su preuzete iz istraživanja (R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014) i (R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015) kako bi se uporedili testni rezultati sa VNS istraživanjem.

Sprovedeni eksperimenti pokazuju da predložen metod promjenljivih okolina sa lokalnim tabu pretraživanjem uspijeva da nađe optimalna rješenja u odnosu na istraživanje (R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014) (u Tabeli 1 druga, treća, četvrta i peta kolona). VNS algoritam, u odnosu na istraživanje (R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015) (u Tabeli 1 šesta i sedma kolona) daje približne vrijednosti i ima prosječnu grešku od samo nekoliko procenata do poznatih referentnih rješenja.

Ograničenja postavljena u toku rada algoritma su ukupno vrijeme izvršavanja jedne varijante testne instance 120 sec, definisani parametri okolina t_{min}=1 i t_{step}=1. Veličina maksimalne okoline t_{max}, dužina tabu liste i broj iteracija bez popravke se unaprijed definišu, na osnovu većeg broja testnih eksperimenata.

Treba napomenuti, kod rješavanja optimizacionih problema, na kvalitet rješenja utiču parametari. Parametri su obično neusklađeni. Prizvoljno se definišu. Definisanje jednog parametra narušava obično ostale parametre. Iz tog razloga, bilo je neophodno uraditi veći broj tesnih eksperimenata. Intuitivno usklađivanje vrijednosti parametara je dalo kvalitetnija rješenja. Na taj način, između pojedinih parametara, se može uočiti postojanje određenih pravila i međuzavisnosti. Od parametra zavisi koliko će se vremena potrošiti na dobijanje dopustivih rješenja, kojom će se brzinom algoritam usmjeravati prema potencijalnom optimalnom rješenju, hoće li pretraživati veći ili manji dio prostora rješenja, procjena uspješnosti ponašanja rješenja, … Oni predstavljaju važnu komponentu rada algoritma. Algoritam je implementiran u C#.

Tabela 1: Poređenje korekcija za drvo strukturu

SXD	Normalizovana greška						
	Gr	**NL**	**Com**	**Mult**	**ACO**	**ACO-C**	**VNS**
2X6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2X10	1.80	1.60	1.10	0.10	0.11	0.02	0.80
2X20	4.20	3.90	1.80	0.10	0.09	0.01	0.90
2X40	2.60	2.40	2.40	0.30	0.05	0.00	0.30
5X15	3.20	2.00	1.30	0.20	0.01	0.00	0.50
5X25	4.40	3.50	2.40	0.20	0.10	0.07	0.60
5X50	4.10	3.50	2.70	0.60	0.07	0.04	0.80
5X100	5.10	4.80	4.30	0.90	0.12	0.00	0.60
10X30	3.20	2.00	1.30	0.10	0.09	0.01	0.90
10X50	3.00	2.50	1.90	0.20	0.07	0.07	0.70
10X100	3.90	3.50	2.90	0.60	0.09	0.03	0.90
10X200	5.50	5.30	5.10	2.20	0.27	0.25	0.90
25X75	3.10	2.30	1.80	0.30	0.18	0.03	0.20
25X125	4.00	3.30	2.50	0.70	0.15	0.06	0.60
25X250	4.40	3.90	3.60	2.00	0.29	0.06	0.60
25X500	5.60	5.40	5.30	3.70	0.48	0.14	0.90
50X150	3.10	2.20	1.50	0.50	0.15	0.04	0.80
50X250	4.40	3.50	3.20	1.70	0.31	0.07	0.90
50X500	5.30	4.80	4.70	3.40	0.44	0.05	0.60
50X1000	6.10	5.80	5.80	4.60	1.09	0.51	1.90
100X300	3.80	2.70	2.30	1.10	0.27	0.09	0.90
100X500	4.40	3.50	3.20	2.30	0.56	0.08	0.90
100X1000	5.50	4.90	4.90	4.00	1.05	0.18	1.60
100X2000	6.40	6.10	6.10	5.10	2.03	0.97	2.30
200X600	3.40	2.30	2.00	1.10	-	-	3.60
200X1000	4.40	3.60	3.40	2.80	-	-	4.60
200X2000	5.50	5.00	5.00	4.40	-	-	5.90
200X4000	6.30	6.00	6.00	5.40	-	-	6.80
400X1200	3.90	2.70	2.60	1.90	-	-	2.90
400X2000	4.50	3.70	3.60	3.10	-	-	3.90
400X4000	5.60	5.10	5.10	4.50	-	-	5.30
400X8000	6.60	6.30	6.30	5.70	-	-	6.40

4.4. Naučni doprinos

Pored dobijenih rezultata u istraživanjima (R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014) i (R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015) najvažniji novi rezultati dobijeni ovim dijelom istraživanja problema podjele grafa ponude/potražnje su: inicijalna podjela u podgrafove, profinjenje početnog rješenja, postupak razmrdavanja, razvijen nov hibridni postupak lokalnog tabu pretraživanja i upotreba većeg broja okolina doveo je do novih saznanja:

- Veličine okolina: odnosi se na restrikcije, tj. smanjenja okolina uočavanjem i razmatranjem samo onih susjeda koji potencijalno mogu da obezbjede poboljšanje.

- Smjer pretraživanja: određuje redoslijed kojim će se pretraživati okoline (kod VNS metode on je definisan parametrima t_{min}, t_{max} i t_{step}).
- Intenzifikacija i diverzifikacija pretraživanja: načini na koje će se pretraživanje koncentrisati u okolinama u kojima se očekuje poboljšanje ili usmjeriti pretraga ka novim, neistraženim regionima prostora rješenja čime se povećava šansa nalaženja globalnog maksimuma.

Realizovani algoritam samostalno razvijen u zadovoljavajućem vremenu pronalazi podjelu u podgrafove. Kao što se može vidjeti iz eksperimentalnih rezultata, predložen metod promjenljivih okolina sa hibridnim lokalnim tabu pretraživanjem je veoma uspješan pri rješavanju problema podjele u podgrafove. Namijenjen je rješavanju problema velikih dimenzija (R. Jovanovic 2013). Zbog svega gore navedenog, naučno istraživanje opisano u ovom radu daje doprinos oblastima kombinatorne optimizacije i lokacijskih problema.

5. ZAKLJUČAK

Obnovljivi izvori energije imaju značajne koristi za životnu sredinu. Tehnologije obnovljivih izvora energije su čiste i imaju mnogo manji uticaj na okolinu, od drugih energetskih resursa. Obnovljivi izvori energije nikada neće nestati. Ostali izvori energije su konačni i jednog dana će biti potrošeni. Većina investicija, iz domena obnovljivih izvora energije, troše manje materijala i rada prilikom njihove izgradnje kao i manje investicije prilikom njihovog održavanja. Prema tome, integracija obnovljivih izvora i optimalno usmjeravanje energije predstavljaju značajnu komponentu održivog razvoja.

Proučavani problem, podjele grafa ponude/potražnje je bio složen i zahtijevao je izvođenje velikog broja eksperimenata. Intuitivnim postupcima smještanja čvorova potražnje u podgrafove došlo se intuitivno do parametara, koji su poboljšali ukupnu potražnju. Kao nastavak ovog istraživanja nastojaće se optimizovat istom ili drugom kombinacijom heuristika problem podjele grafa ponude/potražnje u odnosu na dobijene rezultate (R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss 2014) i (R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss 2015), kako bi se uporedila testna rješenja i istakle prednosti.

LITERATURA

[1] R. Jovanovic, A. Bousselham, A greedy method for optimizing the selfadequacy of microgrids presented as partitioning of graphs with supply and demand, in: The 2nd International Renewable and Sustainable Energy Conf erence Ouarzazate, Morocco October 17-19, 2014, IEEE conference, 2014, pp. 154–159.

[2] R. Jovanovic, A. Bousselham, S. Voss, A heuristic method for solving the problem of partitioning graphs with supply and demand (2014).

[3] R. Jovanovic, M. Tuba, S. Voss, An Ant Colony Optimization Algorithm for Partitioning Graphs with Supply and Demand (2015)

[4] R. Jovanovic, Benchmark data sets for the problem of partitioning graphs with supply and demand (2013). URL http://mail.ipb.ac.rs/~{}rakaj/home/graphsd.htm

[5] Ito T, Demaine ED, Zhou X, Nishizeki T (2008) Approximability of partitioning graphs with supply and demand. Journal of Discrete Algorithms 6(4):627 – 650

[6] Ito T, Zhou X, Nishizeki T (2005) Partitioning trees of supply and demand. International Journal of Foundations of Computer Science 16(4):803–827

[7] Narayanaswamy NS, Ramakrishna G (2012) Linear time algorithm for tree t-spanner in outerplanar graphs via supply-demand partition in trees. In: CoRR, abs/1210.7919

[8] Kawabata M, Nishizeki T (2013) Partitioning trees with supply, demand and edge-capacity. IEICE Transactions 96-A(6):1036–1043

[9] Nenad Mladenovic, Pierre Hansen (1997). "Variable neighborhood search". Computers and Operations Research. 24 (11): 1097–1100.

[10] Fred Glover (1986). "Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence". Computers and Operations Research. 13 (5): 533–549.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR CREATING STUDENT GROUPS WITH SIMILAR CHARACTERISTICS

DUŠAN DŽAMIĆ[1], MIROSLAV MARIĆ[2], ALEKSANDAR ĐENIĆ[3], BOJANA LAZOVIĆ[4]

[1] Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, dzamic@fon.bg.ac.rs
[2] Faculty of Mathematics, University of Belgrade, maricm@matf.bg.ac.rs
[3] Faculty of Mathematics, University of Belgrade, djenic@matf.bg.ac.rs
[4] Belgrade Business School, bojana.lazovic@bbs.edu.rs

Abstract: *This paper considers real problem of assigning students from Belgrade Business School to study groups in such a way that each group provides a good representation of the classroom population. We consider this problem as a general Balanced Multi-Weighted Attribute Set Partitioning (BMWASP) problem which requires finding a partition of a given set of objects with multiple weighted attributes into a certain number of groups so that each attribute is evenly distributed amongst the groups. To solve instances from Belgrade Business School, we have developed a heuristic method based on a Variable Neighborhood Search (VNS). A local search procedure with efficient fast swap-based local search is implemented in the proposed VNS-based approach.*

Keywords: *set partitioning, balanced groups, variable neighborhood search.*

1. INTRODUCTION

The motivation for our research stems from Belgrade Business School, where students from the same grade must be divided into groups in such a way that each group provides a good representation of the classroom population. School administration chooses student attributes and determine their relative importance. For example, some of attributes are gender, age, current grades, country of origin, etc. After the attributes and their weights are determined, it is necessary to form groups and measure the quality of their composition and balance. This problem can be seen as general Balanced Multi-Weighted Attribute Set Partitioning (BMWASP) problem which requires finding a partition of a given set of objects with multiple weighted attributes into a certain number of groups so that the groups are as balanced as possible with respect to the number of elements possessing each attribute.

1.1. Literature Review

In the literature can be found different variants of balanced partitioning problem, each in turn considering different assumptions, constraints and objective functions. In [3] Desrosiers et al. use a centroid to represent each group of entities, and propose two different ways of measuring the balance among groups min-sum and min-max objectives. Model with min-sum objective minimizes the sum of weighted distances between team centroids and the target vector of attributes. Model with min-max objective minimizes the maximum weighted distance between team centroids and the target vector of attributes. The authors apply their method to partition 120 MBA students in groups of 5 at HEC, Montreal. In [1] Baker and Benn presented case study which consists of assigning 235 students to eight tutor groups. They used mixed linear programming formulation with min-sum objective. In [4] Krass et al. enforce balance through hard constraints and problem observed as satisfiability (feasibility of perfectly balanced partition), rather than an optimization problem. The authors analyze one representative practical application to design student groups at the Rotman School of Management, University of Toronto. Our problem formulation differs from others in the literature because the data is binary and multidimensional with weight coefficients. By contrast, Behestian et al. [2] use either one-dimensional attributes or composite scores in an attempt to integrate attributes that are not easily commeasurable.

1.2. Main contribution

We define an appropriate criterion allowing to compare the degree of deviation from the "perfect balance" for different partitions and then produce the partition that minimizes this criterion. We propose a mathematical formulation for the BMWASP to minimization the total distance from the ideal number of each attribute in

each group including attributes weight. In order to solve problem instance from Belgrade Business School we have developed a heuristic method based on a Variable Neighbourhood Search (VNS) for solving BMWASP. A local search procedure with efficient fast swap-based local search is implemented in the proposed VNS-based approach.

2. PROBLEM FORMULATION

In BMWASP, there are n objects to be partitioned in k groups. Each object $s_i, (i = 1,2 \dots, n)$ has one or more attributes $c_j, (j = 1,2, \dots, m)$ and each attribute c_j has a weight w_j.
The goal is to partition set of n objects into k mutually disjoint groups such that each group contains approximately the same number of objects possessing each attribute. In process of partitioning objects into groups attributes with greater weight have a higher priority than the attributes with less weight. This section will introduce the mathematical formulation of the BMWASP problem, which requires the following notation:

- $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$ - set of n objects;
- $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_k\}$ - set of k groups;
- $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\}$ - set of m attributes;
- w_j - weight of attribute c_j for $j = 1,2, \dots, m$;
- $a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if object } s_i \text{ has attribute } c_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad i = 1,2, \dots, n, \ j = 1,2, \dots, m$
- $x_{il} = \begin{cases} 1, & \text{if object } s_i \text{ is assigned to group } g_l \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad i = 1,2, \dots, n, \ l = 1,2, \dots, k$

Using the above notation BMWASP problem are defined as follows:

$$\text{Minimize} \sum_{j=1}^{m} \sum_{l=1}^{k} w_j \left| y_{jl} - c_j^{avg} \right| \tag{1}$$

Subject to:

$$y_{jl} = \sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_{il}, \qquad j = 1,2, \dots, m, \quad l = 1,2, \dots, k; \tag{2}$$

$$c_j^{avg} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{n} a_{ij}, \qquad j = 1,2, \dots, m; \tag{3}$$

$$\sum_{l=1}^{k} x_{il} = 1, \qquad i = 1,2, \dots, n; \tag{4}$$

$$\sum_{l=1}^{k} x_{il} \leq \left\lceil \frac{n}{k} \right\rceil, \qquad l = 1,2, \dots, k; \tag{5}$$

$$\sum_{l=1}^{k} x_{il} \geq \left\lfloor \frac{n}{k} \right\rfloor, \qquad l = 1,2, \dots, k; \tag{6}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad i = 1,2, \dots, n, \ j = 1,2, \dots, m; \tag{7}$$

The objective function (1) minimizes the total distance from the ideal number of each attribute in each group including attributes weight. Constraints (2) and (3) are used to define the number of each attribute in each group and ideal number of each attribute in group, respectively. The constraint (4) ensure that each object is assigned to exactly one group. Constraints (5) and (6) impose maximum and minimum group sizes, respectively. The above model allows groups to differ in size if n is not divisible by k.

4. VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

VNS metaheuristic was introduced by Mladenovć and Hansen [5] for solving the traveling salesman problem (TSP). After that, VNS has been applied by more and more researchers to solve continuous and global optimization problems.

VNS metaheuristic combines local search with systematic changes of neighborhood in the descent and escape from local optimum. The basic VNS employs a set of predefined neighborhoods. By sequentially exploring these neighborhoods, local optima solutions in different neighborhood structure can be obtained, and thus, better solutions can be reached through this process. In VNS, one solution in the current neighborhood is selected as the incumbent solution. Then, local search is performed on the selected solution to generate several neighboring solutions. By comparing the neighboring solutions with the incumbent one, the current solution will be replaced by the best solution found thus far or remain its state if no better solution is found. Then, the neighborhood will turn to the first one if a better solution is found or turn to the next one if the incumbent solution remains itself. By systematically changing the current neighborhood, VNS directs the search to a promising field, and thus, global optimal solutions will be found.

The main steps of the basic VNS are given as follows:

1. *Initialization*: Select a set of neighborhood structures N_p $(p = 1, \dots, p_{max})$, find an initial solution x, set $p = 1$, choose a stopping condition.
2. *Shaking*: Generate a solution $x' \in N_p(x)$ at random.
3. *Local search*: Apply a local search method starting with x' to find local optimum x''.
4. *Move or not*: If x'' is better than the incumbent, then set $x = x''$ and $p = 1$, otherwise set $p = p + 1$ (or if $p = p_{max}$ set $p = 1$).
5. *Test stop condition*: If stop condition is not satisfied then go to step 2. Otherwise return the best solution x.

Inspired by successful application of VNS for forming four member heterogeneous groups within CSCL (Computer supporting collaborative learning) [6] and in other numerous fields we have developed a variant of VNS for solving the BMWASP. The advantage of the proposed VNS is in the implemented fast interchange method used within local search in order to obtain improvements in an efficient manner. In the following subsection, all aspects of the proposed VNS-based method will be explained in detail.

1.3. VNS for BMWASP

Initial solutions in our VNS is obtained by Reduced VNS algorithm (RVNS), which consists of repetition of shake phase. The idea is to use the RVNS method to quickly find a good initial solution for the basic VNS part. The shaking phase moves the current best solution to a random p-neighborhood which contains solutions obtained by p swapping a single pair of objects belonging to different groups. Local search component will be explained in subsection. The stopping condition of the VNS procedure is reaching a maximum number of iterations without improving the current solution. The maximum number of iterations is 30.

1.3.1. Local search

For local search we use best-improvement strategy and swap neighborhood which contains solutions obtained by swapping a single pair of objects belonging to different groups. The pseudo-code of local search part is given in Algorithm 1.

In the first line value of the objective function for the initial solution is calculated. This step is not necessary if the value of the objective function is updated in shaking phase similar as described below. Initial solution is claimed to be the best (x_{best}) in step 2. The initial value of variable $improvement$ is defined at step 3. The central part of local search consists of the loop executed in lines 4-35 while it is possible to improve the solution by swapping. For each single pair of objects belonging to different groups in steps 10-13 is obtained x_{temp} solutions by swapping them and then updates the objective function value.

Let element s_{i1} be in group g_{l1} and element s_{i2} in group g_{l2} of the current solution $x_{current}$. Denote with x_{temp} the solution obtained after moving the element s_{i1} into group g_{l2} and the element s_{i2} into group g_{l1}. Since the element s_{i1} is removed from the group g_{l1} and inserted in the group g_{l2} new number of attributes in group g_{l1} and g_{l2} contribute to the objective function value of the new solution. But, because the others groups g_l, where $l = 1,2, \dots k$ and $l \neq l_1$, $l \neq l_2$ are unchanged, number of attributes in these groups do not contribute to the objective function value of the new solution.

Algorithm 1: Local search scheme

```
   input  : solution x_initial
   output: solution x_best
1  f_initial ← CalculateCost(x_initial);
2  x_best ← x_initial;
3  improvement ← true ;
4  while improvement do
5      improvement ← false;
6      for l_1 = 1 to k do
7          foreach student s_{i_1} in group g_{l_1} do
8              for l_2 = l_1 + 1 to k do
9                  foreach student s_{i_2} in group g_{l_2} do
10                     x_temp ← x_initial;
11                     f_temp ← f_initial;
12                     x_temp^{g_{l_1}} ← (x_temp^{g_{l_1}} \ {s_{i_1}}) ∪ {s_{i_2}};
13                     x_temp^{g_{l_2}} ← (x_temp^{g_{l_2}} \ {s_{i_2}}) ∪ {s_{i_1}};
14                     foreach attribute c_j do
15                         if a_{i_1,j} ≠ a_{i_2,j} then
16                             f_temp ← f_temp − w_j · |y_{jl_1} − c_j^{avg}| − w_j · |y_{jl_2} − c_j^{avg}|;
17                             if a_{i_1,j} = 1 and a_{i_2,j} = 0 then
18                                 y_{j,l_1} ← y_{j,l_1} − 1;
19                                 y_{j,l_2} ← y_{j,l_2} + 1;
20                             else
21                                 y_{j,l_1} ← y_{j,l_1} + 1;
22                                 y_{j,l_2} ← y_{j,l_2} − 1;
23                             end
24                             f_temp ← f_temp + w_j · |y_{jl_1} − c_j^{avg}| + w_j · |y_{jl_2} − c_j^{avg}|;
25                         end
26                     end
27                     if f_temp < f_best then
28                         x_best ← x_temp;
29                         improvement ← true ;
30                     end
31                 end
32             end
33         end
34     end
35 end
```

In order to use the previous fact and speed up local search we maintain matrix y such that y_{jl} is the number of objects in group g_l which contain attribute c_j. We have also initialized array c_j^{avg} (for example, after loading the data) which define the ideal number of attribute c_j in groups . So, in one iteration through all attributes in steps 14-26 we can finally calculate the objective values of the neighboring solution. Condition in line 15 skips attributes which not contribute to the objective function value. Before update number of attributes for groups involved in swapping in step 16 objective function value is reduced. Then after matrix y is updated (in steps 17-23) objective function value is increased for new contribution of attribute c_j in these groups. In steps 27-30, the best solution is updated if x_{temp} is better then current x_{best} and value of parameter $improvement$ is set to $true$. It is obvious that the change of the objective value for each solution from swap neighborhood is done in $O(m)$.

5. APPLICATION OF BMWASP IN BELGRADE BELGRADE BUSINESS SCHOOL

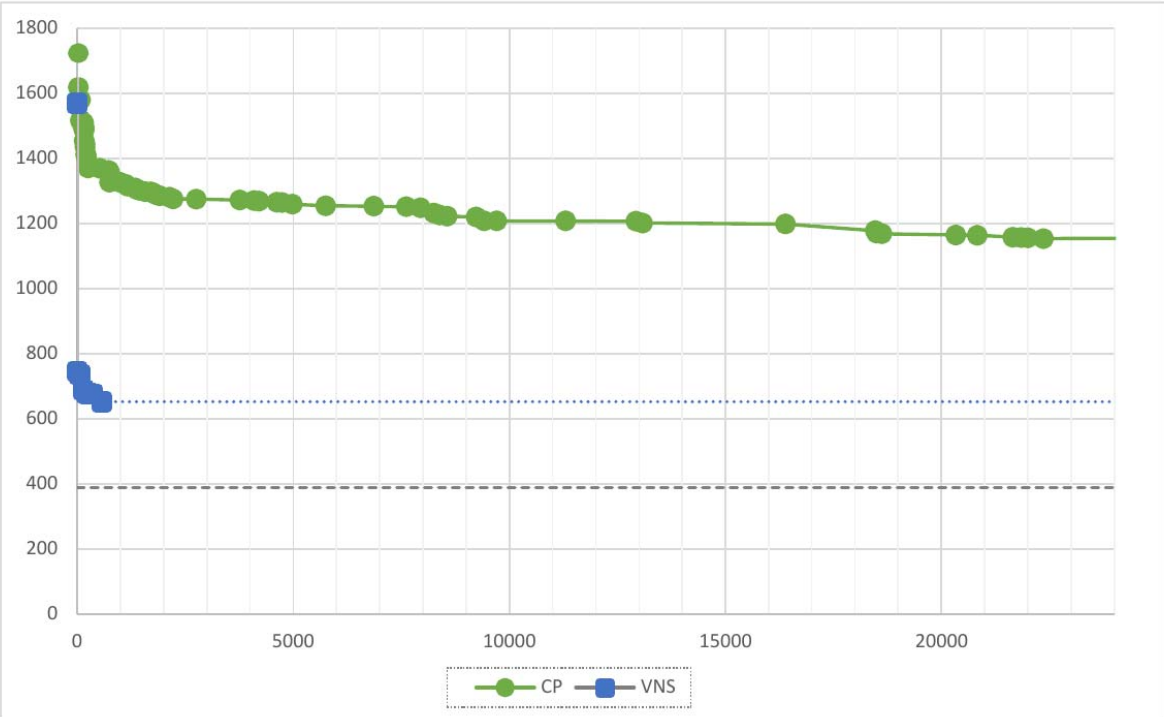
In Belgrade Belgrade Business School, 229 students from the same grade must be divided into 10 groups in such way that each group provides a good representation of the classroom population. School administration chooses 116 student attributes and determine their relative importance.

Table 1 shows comparison of computational results obtained with CPLEX CP solver with BMWASP model, and VNS algorithm. CPLEX CP Optimizer was interrupted after 28800 seconds (8 hours). Figure 1 presents the improvement of the objective function by this two methods during the execution time (in seconds).

Table 1: Comparasion of computational results - Belgrade Belgrade Business School

	Property	*Value*
CPLEX CP Optimizer	objective value after 8h	1151.20
	number of improved solutions	75
	memory usage	149.20 MB
	explored branches	7 326 914
VNS	best objective value	653.00
	average objective value	671.84
	averege time	567.60s
	memory usage	36.50 MB
	standard deviation	11.81
	relative standard deviation	1.8

Figure 1: Improvement of the objective function value during execution



The obtained results showed that the average value of the objective function obtained by VNS algorithm in less than 10 minutes is much better than that achieved by the parallel CPLEX CP Optimizer with 4 workers after 8 hours.

5. CONSLUSION

Balanced Multi-Weighted Attribute Set Partitioning (BMWASP) problem requires finding a partition of a given set of objects with multiple weighted attributes into a certain number of groups so that the groups are as balanced as possible with respect to the number of elements possessing each attribute. Our approach is to define an appropriate criterion allowing to compare the degree of deviation from the "perfect balance" for different partitions and then produce the partition that minimizes this criterion. We have proposed an mathematical formulation for BMWASP and variant of Variable Neighborhood Search (VNS) with efficient fast swap-based local search. Finally we have successfully applied BMWASP and proposed VNS algorithm at the Belgrade Belgrade Business School for forming study groups.

Acknowledgement

This research was partially supported by Serbian Ministry of Education and Science under the grants No. 174010.

REFERENCES

[1] Baker, B., Benn, C. (2001). Assigning pupils to tutor groups in a comprehensive school. Journal of the Operational Research Society 52(6), 623–629

[2] Beheshtian-Ardekani, M., Mahmood, M.A. (1986). Education development and validation of a tool for assigning students to groups for class projects. Decision Sciences 17(1), 92–113

[3] Desrosiers, J., Mladenovi´c, N., Villeneuve, D. (2005). Design of balanced mba student teams. Journal of the Operational Research Society 56(1), 60–66

[4] Krass, D., Ovchinnikov, A. (2010). Constrained group balancing: Why does it work. European Journal of Operational Research 206(1), 144–154

[5] Mladenović, N., Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. Computers & Operations Research 24(11), 1097–1100

[6] Takači, D., Marić, M., Stankov, G., Djenić, A. (2017). Efficiency of using vns algorithm for forming heterogeneous groups for cscl learning. Computers and Education 109, 98 – 108. DOI http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.014

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

KLASTEROVANJE KADA PODACI NEDOSTAJU KORIŠĆENJEM METODE PROMENLJIVIH OKOLINA

CLUSTERING WHEN MISSING DATA BY USING THE VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

NATAŠA GLIŠOVIĆ[1], TATJANA DAVIDOVIC[2], MIODRAG RAŠKOVIĆ[2]

[1] Državni Univerzitet u Novom Pazaru, natasaglisovic@gmail.com
[2] Matematički Institut SANU, {tanjad, goca@mi.sanu.ac.rs}

Rezime: *Rad se bavi istraživanjem efikasnosti klasterovanja pomoću metode promenljivih okolina (eng. Variable neighborhood search-VNS), konkretno, pomoću nekih njenih varijanti. Takođe, bavi se i problemom nedostajućih podataka i donošenja odluke u takvim okolnostima. Cilj ovog istraživanja je da se predloženo rastojanje, u slučajevima kada podaci iz nekog razloga nedostaju, implementira kroz neke varijante metaheurističke metode promenljivih okolina. Efikasnost implementacije pokazana je kroz eksperimentalne rezultate na konkretnoj bazi autoimunih bolesti Kliničkog centra Srbije.*

Ključne reči: *metod promenljivih okolina (VNS), redukovana metoda promnljivih okolina (RVNS), nedostajući podaci, rastojanje, klasterovanje, autoimune bolesti.*

Abstract: *The paper deals with the study of the clustering efficiency with the variable neighborhood search-(VNS), more precisely with some of its varianse. It also deals with the problem of missing data and decision making in such circumstances. The aim of this research is to implement the proposed distance, in cases when data for some reason are missing, into some variants of the variable neighborhood search metaheuristic method. The efficiency of the proposed implementation is demonstrated through the experimental results on the concrete basis of autoimmune diseases from the Clinical Center of Serbia..*

Keywords: *Variable neighborhood search (VNS), Reduced Variable neighborhood search (RVNS), Missing Data, Distance, Clustering, Autoimmune Diseases.*

1. UVOD

Mogućnosti primene operacionih istraživanja u medicini su mnogostruke, na primer postavljanje dijagnoza, doziranje terapije, optimizacija dužine lečenja i slično. U ovom radu razmatra se primena optimizacionih metoda u postavljanju dijagnoze bolesnicima na osnovu izvršenih pregleda i analiza. Svaki pacijent predstavljen je vektorom atributa koji se sastoji od rezultata izvršenih analiza. Dijagnoza se ustvari svodi na klasterovanje pacijenata u zadati broj bolesti na osnovu rastojanja definisanih nad odgovarajućim vektorima.

Klasterovanje (eng. clustering) je tehnika istraživanja podataka koja otkriva objekte (koji se opisuju atributima) sličnih osobina i deli ih u grupe (klastere), čineći ih preglednijim i korisnijim. Klaster analiza zapravo predstavlja pronalaženje grupa objekata takvih da su objekti u grupi međusobno slični (ili povezani), a da su objekti u različitim grupama međusobno raličiti (ili nepovezani).

Metode zasnovane na udaljenosti su veoma popularne u literaturi, jer mogu da se koriste za bilo koji tip podataka, dok god postoji odgovarajuća funkcija rastojanja pogodna za tu vrstu podataka. Dakle, problem grupisanja podataka može da se svede na problem pronalaženja funkcije rastojanja za tu vrstu podataka. Iz ovoga proizilazi da je pronalaženje funkcije rastojanja postala važna oblast istraživanja u obradi podataka (Wang and Sun 2012; Das and Mannila 2000).

Da bi se uopšte sprovela analiza grupisanja, neophodno je definisati mere bliskosti dva objekta na osnovu njihovih karakteristika. Koncept „sličnosti" se određuje u zavisnosti od samih podataka. S obzirom da su podaci u većini slučajeva vektori stvarnih vrednosti, Euklidska udaljenost između podataka može poslužiti kao mera te različitosti. Međutim, jedan od nedostataka poznatih rastojanja (kao što su: Euklidsko rastojanje, Menhetn rastojanje, rastojanje Minkovskog) je što se mogu primeniti samo kada nam je poznata vrednost svih komponenti, tj. osobina koje posmatramo kod objekata (Aggarwal 2003).

Osnovni problem pri primeni standardnih metoda klasterovanja na problem razmatran u ovom radu je što u medicini nije lako odrediti rastojanje s obzirom da veoma često neke od analiza nedostaju. Zato se koristi nova funkcija merenja rastojanja predložena u prethodnim istraživanjima (Glišović and Rašković 2017) koja je ugrađena u model celobrojnog linearnog programiranja (eng. Integer Linear Programming, ILP) i nove heurističke metode zasnovane na metaheurističkoj metodi promenljivih okolina. Implementirane metode primenjene su u klasterovanju medicinskih podataka Kliničkog centra Srbije, odeljenja za alergologiju i imunologiju kod kojih se javio problem nedostajućih podataka.

Istraživanje je prikazano kroz nekoliko faza. Pošto baza podataka koja je korišćena u eksperimentalnom delu ima nedostajuće podatke za pojedine atribute (koji opisuju svaki element baze, objekat), u ovom istraživanju smo prvo opisali predloženo rastojanje na osnovu kojeg možemo odrediti udaljenost dva objekta kada podaci nedostaju. U narednom odeljku će biti reči o problemu nedostajućih podataka kao i izboru mera sličnosti/rastojanja. Zatim ćemo formulisati problem klasterovanja kao i primenu osnovne i redukovane metode promenljivih okolina na problem klasterovanja sa nedostajučim podacima. Rezultati istraživanja biće predstavljeni u odeljku 4, a zaključak i mogućnosti za neka dalja istraživanja predstavićemo u odeljku 5.

2. PROBLEM NEDOSTAJUĆIH PODATAKA. IZBOR MERA SLIČNOSTI/RASTOJANJA

Problem nedostajućih podataka je od velikog značaja. Kada se govori o mehanizmima nedostajućih podataka treba utvrditi prvo razlog nedostajanja podataka. Podaci mogu nedostajati iz više razloga. Neki od njih su: podaci nisu raspoloživi, došlo je do grešaka u radu sa opremom, nekonzistentnosti sa drugim podacima, pa su zato izbrisani, nisu unešeni zbog nerazumevanja, nisu smatrani bitnim u trenutku unosa itd. Bitna je odluka šta raditi sa nedostajućim podacima. Neke od mogućnosti su (Graham 2012):

- Izbrisati elemente kod kojih se javljaju nedostajući podaci-što nije preporučljivo posebno kod klasifikacije, a naročito ako nedostajuće vrednosti varijaju od elementa do elementa, tj. nedostaju različiti elementi kod različitih objekata (vektora).
- Ručno popunjavanje nedostajućih vrednosti koje je zamorno i često neizvodljivo.
- Automatsko popunjavanje: nekom opštom konstantom, srednjom vrednosti elemenata za sve objekte (vektore) koji pripadaju istoj klasi.
- Najverovatnija vrednost-zaključak se donosi na osnovu Bajesove formule ili prema stablu odlučivanja.

U bazi sa kojom se radilo u ovom istaživanju (baza pacijenata koji boluju od autoimunih bolesti) do nedostajućih podataka je došlo zato što za neke od pacijenata nije bilo potrebe da se odrade određene analize, jer se pre njih ustanovilo o kojoj bolesti je reč ili nije bilo sredstava zato što su pojedine analize skupe, a neki od podataka nedostaju zbog gubitka tog podatka u trenutku unosa u bazu podataka (u otpusnim listama na osnovu kojih su unošeni podaci došlo je do previda).

Da bi prevazišli ovo ograničenje, a da opet sačuvamo kompaktnost nalaza tj. da ne vršimo brisanje nalaza kod kojih postoje nedostajući podaci, predlažemo da se koristi rastojanje definisano formulom (1) predloženo u Glišović and Rašković (2017).

Da bi se uopšte sprovela analiza grupisanja, neophodno je definisati mere bliskosti dva objekta na osnovu njihovih karakteristika. Koncept „sličnosti" se određuje u zavisnosti od samih podataka. S obzirom da su podaci u većini slučajeva vektori stvarnih vrednosti, Euklidska udaljenost između podataka može poslužiti kao mera te različitosti.

Neka baza podataka sadrži m objekata $x_i \in R^n$, $i = 1,...,m$. Za meru $d : R^n \times R^n \to R$ kažemo da predstavlja *meru različitosti* (rastojanja, metrike), objekata $x_i \in R^n$ i $y_j \in R^n$ u oznaci $d_{ij} = d(x_i, y_j)$ ako zadovoljava sledeće osobine za sve objekte:

1. $d_{ij} \geq 0$ (uslov nenegativnosti)
2. $d_{ij} = d_{ji}$ (uslov simetričnosti)
3. $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$ (uslov nejednakosti trougla)

Za meru $s_{ij} = s(x_i, y_j)$ kažemo da predstavlja *meru sličnosti* objekata x_i i y_i, gde je $1 \leq i, j \leq m$, ako zadovoljava sledeće osobine:

1. $0 \leq s_{ij} \leq 1$ (uslov normiranosti)
2. $s_{ij} = 1$, samo ako su objekti jednaki

3. $s_{ij} = s_{ji}$ (uslov simetričnosti)

Pored problema nedostajućih podataka opisanog iznad, unešeni podaci u bazi koju smo koristili su šifrovani, pa se zato došlo na ideju korišćenja Hamingovog rastojanja (eng. Hamming distance) (Norouzi *et al* 2012) i predloga novog rastojanja koje koristi Hamingovo.

Neka je F konačan skup vektora.

Definicija: Hamingovo rastojanje $d\left(\underline{x}, \underline{y}\right)$ između dva vektora $\underline{x}, \underline{y} \in F^{(n)}$ je broj mesta (elemenata) na kojim se ova dva vektora razlikuju.

Rastojanje predloženo u Glišović and Rašković (2017) koristi Hamingovo rastojanje i iskazne formule. Korišćenje iskaznih formula u definiciji rastojanja je zbog opštosti rastojanja.

Neka su φ i ψ dva skupa iskaznih formula kojem pripadaju formule koje predstavljaju konjunkciju literala. Predloženo rastojanje između ova dva skupa iskaznih formula definisano je sa:

$$D(\varphi,\psi) = \frac{\max\limits_{A\in\varphi} \min\limits_{B\in\psi} d(A,B) + \max\limits_{B\in\psi} \min\limits_{A\in\varphi} d(A,B)}{2} \tag{1}$$

gde je $d(A, B)$ Hamingovo rastojanje.

Primer: Neka su data dva vektora v_1 i v_2 dužine tri sa vrednostima elemenata a, b i c na takav način da imamo sledeće podatke o vektorima:

vektor v_1 ima $a \wedge b$ (iz nekog razloga nedostaje informacija o vrednosti elementa c)

vektor v_2 ima $a \wedge \neg b \wedge c$

Ako primenimo predloženo rastojanje, formula φ koja opisuje prvi vektor, je: $a \wedge b \wedge (c \vee \neg c)$.

Kada pretvorimo sve u konjukcije imećemo dve formule $a \wedge b \wedge c$ i $a \wedge b \wedge \neg c$ (te dve formule pripadaju skupu formula φ). Dok skup formula drugog vektora, skup ψ, čini samo formula $a \wedge \neg b \wedge c$. Ako primenimo rastojanje (1), na ova dva vektora, dobićemo da ono iznosi:

$$D(\varphi,\psi) = \frac{\max\limits_{A\in\varphi} \min\limits_{B\in\psi} d(A,B) + \max\limits_{B\in\psi} \min\limits_{A\in\varphi} d(A,B)}{2} =$$

$$= \frac{\max\left\{\min\left\{d(a \wedge b \wedge c, a \wedge \neg b \wedge c)\right\}, \min\left\{d(a \wedge b \wedge \neg c, a \wedge \neg b \wedge c)\right\}\right\} + \max\left\{\min\left\{d(a \wedge \neg b \wedge c, a \wedge b \wedge c), d(a \wedge \neg b \wedge c, a \wedge b \wedge \neg c))\right\}\right\}}{2}$$

$$= \frac{\max\left\{\min\{1\}, \min\{2\}\right\} + \max\left\{\min\{1,2\}\right\}}{2} = \frac{2+1}{2} = \frac{3}{2}.$$

3. FORMULACIJA PROBLEMA KLSTEROVANJA. OSNOVNA I REDUKOVANA METODA PROMENLJIVIH OKOLINA

3.1. KLASTEROVANJE

Postoji nekoliko formulacija problema klasterovanja zavisno od funkcije cilja koja se optimizuje, a u ovom istraživalju je korišćena formulacija preko problema p-medijane (Mladenović *et al*. 2007).

Neka su x_{ij} i y_j binarne promenljive definisane na sledeći način:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako se objekat } i \text{ nalazi u klasteru } j, \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{ako objekat } j \text{ reprezentuje odgovarajući klaster,} \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

$$\min \sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \tag{2}$$

t. d.

$$\sum_j x_{ij} = 1 \text{ za svako } i \tag{3}$$

$$x_{ij} \le y_j \text{ za svako } i,\ j \tag{4}$$

$$\sum_j y_j = p \tag{5}$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \tag{6}$$

Formulacija je iskorišćena u komercijalnom solveru CPLEX za dobijanje optimalnog rešenja kao referentog rezultata za utvrđivanje performanse VNS metoda.

Problem koji se u ovom radu razmatra odnosi se na klasterovanje pacijenata u cilju postavljanja odgovarajućih dijagnoza. Svaki pacijent opisan je vektorom nalaza među kojima neki od elemenata mogu nedostajati. Broj klastera (mogućih bolesti) zadat je unapred.

U bazi sa kojom se radilo u ovom istaživanju (baza pacijenata koji boluju od autoimunih bolesti) ima 45 pacijenata koji su opisani kroz 89 nalaza. Primer nekih od nalaza sa kodiranim odgovarajućim vrednostima dat je u Tabeli 1. Baza je kodirana i ima nedostajuće podatke tako da smo u postupku klasterovanja primenili rastojanje (1) opisano u odeljku 2. Ukoliko neki nalaz nedostaje, odgovarajuća vrednost u vektoru ne postoji.

Tabela 1: Nazivi i vrednosti nekih od 89 nalaza kao ilustrativni primer kodirane baze.

Nalaz	Vrednost
Coombsov test	0. negativan; 1. Pozitivan
ANA	0. negativan; 1. pozitivan<1:80; 2. pozitivan >1:80
PH biopsije bubrega	0. uredno; 1. mezancijalni N II; 2. fokalno prolif. III; 3. difuzno prolif. IV; 4.membranski GN V; 5. skleroza (UZ)

Pacijenti se svrstavaju u tri grupe (klastere) jer se u bazi nalaze pacijenti koji boluju od tri bolesti- sistemska skleroza, sjegren i lupus. Svaki klaster karakteriše se svojim centroidom koji je u našem slučaju realni pacijent. To znači da se pacijenti grupišu na osnovu rastojanja od izabranog centroida.

3.2. OSNOVNA I REDUKOVANA METODA PROMENLJIVIH OKOLINA

Metoda promeljivih okolina je metaheuristika koja je predstavljena devedesetih godina prošlog veka (Mladenović 1995, Mladenović and Hansen 1997) nakon čega je doživela mnogo promena i ekstenzija (Hansen *et al.* 2010, Hansen *et al*. 2010a), kao i uspešnih primena (Hansen and Mladenović 2012). VNS metaheuristika zasnovana je na tri osnovne činjenice:

1. Lokalni minimum u odnosu na jednu okolinu ne mora biti i lokalni minimum u odnosu na neku drugu okolinu;
2. Globalni minimum je lokalni minimum u odnosu na sve okoline;
3. Za većinu problema lokalni minimumi u odnosu na razne okoline su međusobno bliski.

Najjednostavnija varijanta VNS metode je redukovana metoda promenljivih okolina (RVNS). Ona se sastoji u sistemskoj promeni okolina i izboru jednog slučajnog rešenja u svakoj od okolina. Koraci odlučivanja bazirani su na tom jednom slučajnom rešenju. Ova metoda je izuzetno korisna za dobijanje početnih rešenja kod primera velikih dimenzija i najbolji rezultat se dobija njenom kombinacijom sa nekom drugom varijantom. Pesudokod RVNS metode dat je na slici 1.

Uobičajeni kriterijum zaustavljanja je maksimalni broj iteracija između dva poboljšanja.

Osnovna metoda promenljivih okolina (BVNS) je najrasprostranjenija varijanta metode promenljivih okolina jer obezbeđuje više preduslova za dobijanje kvalitetnijih konačnih rešenja. Kod BVNS metode osnovni koraci sadržani su u petlji u kojoj menjamo indeks okoline i, određujemo slučajno rešenje iz te okoline, izvršavamo proceduru lokalnog pretraživanja počev od tog slučajnog rešenja i proveravamo kvalitet dobijenog lokalnog minimuma. Ove korake ponavljamo dok ne bude zadovoljen neki od kriterijuma zaustavljanja. Prilikom svakog odabira okoline početna rešenja generišemo na slučajan način kako bi obezbedili pretraživanje različitih regiona kod svakog sledećeg razmrdavanja u okolini i. Okoline razlikujemo po broju transformacija (rastojanju) ili po vrsti transformacija (metrici).

Napominjemo da okoline za izbor slučajnog rešenja (razmrdavanje) i lokalno pretraživanje ne moraju biti istog tipa. Pseudokod BVNS metode dat je na slici 2.

RVNS i BVNS primenjeni na problem klasterovanja pacijenata implementirani su na sledeći način. Najpre su izračunata rastojanja između pacijenata primenom formule (1). U fazi predprocesiranja vrste matrice rastojanja (kao i odgovarajući indeksi pacijenata) sortirane su u neopadajućem poretku. Ovi podaci korišćeni su za efikasniju implementaciju operatora razmrdavanja. Naime, kako se svako rešenje karakteriše skupom centroida, operator razmrdavanja sastoji se u zameni odgovarajućeg broja centroida. Preciznije, razmrdavanje u okolini k podrazumeva da se centroidi zamene slučajno izabranim pacijentima koji nisu centroidi, a udaljeni su najviše k mesta od centroida koga menjaju. U svakom koraku razmatra se zamena

svih centroida, pri čemu do zamene neće doći ukoliko je slučajno izabrani pacijent najbliži tom centroidu (ustvari to je sam taj centroid). Lokalno pretraživanje sastoji se u sistematskoj zameni jednog centroida pacijentom koji nije centroid. Ono polazi od rešenja dobijenog razmrdavanjem i izvršava se po *best improvement* principu dok god ima poboljšanja.

Inicijalizacija. Izabrati početno rešenje x, $x_{optimalno} = x$, $f_{optimalno} = f(x)$.
Radi
{
$i = 1$
Radi
{
Izabrati slučajno rešenje x' u okolini rešenja x (Razmrdavanje(i))
Ako je $f(x') < f(x_{optimalno})$ **onda** je
$x_{optimalno} = x'$
$f(x_{optimalno}) = f(x')$
$i = 1$
inače $i = i + 1$
} sve dok nije $i = i_{max}$
} sve dok nije zadovoljen kriterijum zaustavljanja

Slika 1. Pseudokod RVNS metode

Inicijalizacija. Izabrati početno rešenje $x \in X$ i definisati kriterijum zaustavljanja STOP=0
Ponavljaj
{
$i = 1$
Ponavljaj
{
Generisati slučajno rešenje x' u i-toj okolini od x- Razmrdavanje(i).
x''=Lokalno pretraživanje (x')
Ako je lokalni minimum bolji od trenutnog minimuma
$x_{optimalno} = x''$
$f(x_{optimalno}) = f(x'')$
$i = 1$
Inače preći u $i = i + 1$
Ako je zadovoljen kriterijum zaustavljanja
STOP=1.
} dok nije $i = i_{max}$ ili STOP=1
} sve dok nije STOP=1

Slika 2. Pseudokod BVNS metode

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

RVNS i BVNS metode implementirane su u C# programskom jeziku na računaru HP-15-d055,.pod operativnim sistemom Windows 10 Pro. S obzirom na stohastičku prirodu metoda vršeno je 100 restartovanja, a kao kriterijum zaustavljanja zadato je vreme izvršavanja CPLEX komercijalnog solvera (1.09 s). Optimalno rešenje CPLEX-a je 82.19, što je i postignuto i kod obe varijante VNS-a, ali za znatno kraće vreme (Tabela 2). Napominjemo da su vremena data u tabeli 2 izražena u milisekundama.

Implementirane VNS metode pokazale su veliku stabilnost jer je od 100 puštanja u BVNS-u najbolje rešenje dostignuto 86 puta, dok je kod RVNS-a to bilo 83 puta. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 2 može se zaključiti da je BVNS stabilnija varijanta dok je RVNS značajnije brža uz neznatan gubitak na stabilnosti.

Tabela 2: Rezultati RVNS-a i BVNS-a.

Metoda	Vrednost najboljeg rešenja	Prosečna vrednost funkcije cilja	Prosečno vreme (ms)
RVNS	82.19	86.66	0.13
BVNS	82.19	82.24	3.36

Ako se analizira uspešnost svrstavanja pacijenata u odgovarajuće klastere upoređena sa originalnom bazom dobije se da je kod RVNS-a i BVNS-a 91.1% pacijenata ispravno određena bolest (od 45 pacijenata 4 su raspoređena u klastere kojima ne pripadaju). Medicinski gledano, ta četiri bolesnika su bila iz grupe lupusa (u izvornoj bazi sa tom dijagnozom), a raspoređeni su u sjegren klaster. Mada, uz konsultovanje stručnjaka iz medicine ove dve bolesti jesu bliske jedna drugoj i dešava se u praksi da pacijenti sa jednom dijagnozom „pređu“ vremenom u drugu (iz lupusa u sjegren i obrnuto).

5. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju cilj je bio da se da predlog kalsterovanja sa nedostajućim podacima, tj. da se ovaj NP težak problem implementira kroz metaherustičku metodu promenljivih okolina (VNS) i pokaže njena uspešnost u rešavanju ovog problema na konkretnom problemu klasterovanja pacijenata koji boluju od autoimunih bolesti. Rezultati prikazani u tabeli 2 ukazuju da su metode zasnovane na VNS metaheuristici dostigle optimalno rešenje (dobijeno pomoću CPLEX solvera) za značajno kraće vreme.

Dalje istraživanje treba da obuhvati primene ovih metoda na veće baze podataka i njihovo poređenje sa drugim metodama.Takođe, istraživanje otvara mogućnost uključivanja težina svakom od nalaza i ispitivanje njihovih značaja u cilju povećavanja uspešnosti dobijenih rezultata u odnosu na ekspertski postavljene dijagnoze lekara specijalista.

LITERATURA

[1] Das, G., & Mannila, H. (2000). Context-based similarity measures for categorical databases. PKDD Conference, 201–210.

[2] Davidović, T. (2006). Raspoređivanje zadataka na višeprocesorske sisteme primenom metaheuristika [doktorska disertacija]. [Beograd]: Matematički fakultet

[3] Glišović, N. and Rašković, M. (2017). Optimization for Classifying the Patients Using the Logic Measures for Missing Data, Scientific publications of the State University of Novi Pazar Ser. a: Appl. Math. Inform. and Mech. vol. 9, 1, 91-101.

[4] Graham, J. W. (2012). Missing Data: Analysis and Design. Springer Science and Business Media, New York.

[5] Hansen, P. and Mladenović, N. (2014). Variable neighborhood search. In Search methodologies (pp. 313-337). Springer US.

[6] Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J. and Perez, J. A. M. (2010). Variable neighborhood search Handbook of Metaheuristics ser. International Series in Operations Research & Management Science, 146, 61-86.

[7] Hansen, P., Mladenović, N. and Pérez, J. A. M. (2010). Variable neighborhood search: methods and applications. Annals of Operations Research, *175*(1), 367-407.

[8] Mladenović, N. (1995). A Variable neighborhood algorithm – a new metaheuristic for combinatorial optimization, Abstracts of papers presented at Optimization Days, Montreal, p. 112.

[9] Mladenović, N., Brimberg, J., Hansen, P., Moreno-Perez JA (2007). The p-median problem: a survey of metaheuristic approaches. European Journal of Operational Research 179:927–939

[10] Mladenović, N., Hansen, P. (1997), Variable neighborhood search. Computers and Operations Research; 24(11); 1097–1100.

[11] Norouzi, M., Fleet, D. J. and Salakhutdinov, R. R. (2012). Hamming distance metric learning. In Advances in neural information processing systems (pp. 1061-1069).

[12] Wang, F. and Sun, J. (2012). Distance metric learning in data mining, SDM Conference (Tutorial)

2017

INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PREPOZNAVANJE GOVORNIKA KAO SISTEM ZASTITE U IOT TEHNOLOGIJAMA

SPEAKER RECOGNITION FOR THE INTERNET OF THINGS AS SECURITY MEASURE

OLJA LATINOVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, oljalatinovic88@gmail.com

Rezime: *IoT tehnologije sve više postaju zastupljene u raznim organizacijama, od akademskih do komercijalnih preduzeća. Takođe, počinju da se koriste i u svakodnevnom životu, kao što su kućni aparati, saobraćajni sistemi, detektori dima, kao i u mnoge druge svrhe. Biometrija je važan segment u IoT tehnologijama, jer je biometrijski sistem jedan od načina zaštite putem kojeg se dokazuje identitet korisnika. Ovaj rad se bavi prepoznavanjem govornika kao jedan od načina zaštite u IoT tehnologijama. Cilj ovog istraživanja je predlog arhitekture za zaštitu sistema putem prepoznavanja govornika u IoT tehnologijama. Ovakav sistem se jednostavno podešava sa novim funkcionalnostima, te se otvara mogućnost za dalji razvoj.*

Ključne reči: *biometrija, prepoznavanje govornika, IoT tehnologije, zaštita, informacioni sistemi*

Abstract: *Internet of Things are becoming more and more represented in all different organisations, from academic to commercial industries. Furthermore, they are utilised in everyday life such as: home appliances, traffic systems, smoke alarms and multi-fold other examples. Biometry is vital segment in IoT technologies due to being and important part of shielding the identity of an operator. Moreover, this paper is based on speaker recognition as one of the ways of shielding in Internet of Things. Consequently, this thesis proposes architecture for shielding systems through speaker recognition in Internet of Things. This system can simply be adjusted by new functions which opens potentials for new development.*

Keywords: *biometric, speaker recognition, Internet of Things, security, information systems*

1. UVOD

Ako pratimo ideje za budućnost tehnologije i društva, srešćemo koncept Internet stvari (eng. Internet of things – IoT), odnosno IoT tehnologije. Taj koncept ima tendenciju da se sve kontroliše putem Interneta. Većina uređaja su povezani preko RFID tehnologije, NFC tehnologije, Bluetooth-a itd. [2] Noviji sistemi izbacuju iz upotrebe PIN kod, pa prelaze na zaštitu sistema putem biometrije. Jedan od takvog načina zaštite je i zaštita putem prepoznavanja govornika.

Glavni cilj ovog rada je predlog arhitekture za zaštitu sistema putem prepoznavanja govornika u IoT tehnologijama. Potreban je visok stepen pouzdanosti, a Fabian i Gunter [6] spominju načine bezbednosti i privatnosti:

- Otpornost na napade: Sistem mora da izbegne pojedinačne tačke neuspeha, kao i da se prilagodi propusnim čvorovima.
- Identifikacija: Potrebna je provera informacija zadatih pri ulazu.
- Kontrola pristupa: Mora da se sprovede kontrola pristupa na ulaznim podacima.
- Privatnost klijenta: Treba da se preuzmu mere kako bi se korišćenje sistema prilagodilo određenom korisniku.

Potrebno je spomenuti i vrste napada [10]: insajder napadi (dojava), napadi na senzor (*Spoof* napadi), napadi na biometrijski sistem u fazi izdvajanja karakteristika i podudaranja podataka (Trojanski konj), napad na veze između modula (*Man-in-the-middle* i ponovni napadi), kao i napadi na bazu podataka (Šablon).

Ovaj rad se bavi zaštitom IoT sistema putem prepoznavanja govornika, jer ljudski glas predstavlja individualni element svakog pojedinca. Osnovna namena glasa je komunikacija sa drugim ljudima, ali porastom potrebe za izvršavanjem akcija putem IoT tehnologije, javlja se i potreba za sigurnosti takvih sistema, kao što su pametne kuće, telefoni i tableti, napredna vozila.

Prepoznavanje govornika koristi karakteristike ljudskog glasa, kao što su visina tona, intenzitet glasa, opseg, frekvencija, koje upoređuje sa setom karakteristika prethodno snimljenog zvučnog zapisa. Ovakav način funkcionisanja omogućava da eliminišemo pamćenje bilo kakve lozinke ili šifre, već se oslanjamo na

jedinstvenost glasovnih karakteristika. Pored prethodno navedenih fizioloških karakteristika, veoma bitnu ulogu u procesu prepoznavanja govornika imaju i bihejvioralne karakteristike. Prozodija, govorni ritam, način izgovaranja reči su neke od ovakvih karakteristika.

Rešenje koje će biti predstavljeno u ovom radu predstavlja biometrijsko rešenje, odnosno predlog arhitekture prepoznavanja govornika kao sistem zaštite u IoT tehnologijama, koji će značajno olakšati korišćenje tehnologije, te takav sistem učiniti znatno sigurnijim.

2. OPIS PROBLEMA

U uvodu je spomenuto da je prednost biometrije u odnosu na druge autentikacione metode činjenica da pruža informacije ko neko jeste, a ne šta zna ili poseduje. Takođe, spomenuti napadi su proizveli veliki broj nesigurnih digitalnih uređaja, kao što su pametni uređaji u kući, telefoni, računari i dr. Potencijalnom napadaču, uređaj predstavlja zanimljiv cilj jer mnogi uređaji imaju takvu prirodu funkcionalnosti koja je izložena napadu (npr. Sigurnosna kamera može da obezbedi vredne informacije u određenoj lokaciji). U ovakvim situacijama, jedno od rešenja bi bilo utvrđivanje identiteta i provera osobe putem prepoznavanja glasa na ulazu u uređaj. Identifikacija korisnika je od presudnog značaja kako bi se uskladio prostor fizički i virtuelni prostor korisnika u IoT tehnologijama [13].

Uobičajeni način napada podrazumeva praćenje poruka koje su komunicarane. Osetljivost podataka u IoT tehnologijama su posebno opasni jer poruke i podaci mogu biti presretnuti, zarobljeni, kao i manipulisani u transferu, gde se ugrožava sigurnost informacija i podataka koje se prenose. Kako bi se sačuvali podaci, potrebno je neprimetna šifra kako se sprečila krađa, a u ovom radu, glas bi predstavljao šifru. Za razliku od tradicionalnog PIN koda koji se uglavnom sastoji od kombinacije brojeva i slova, identifikacija glasa generiše određene algoritme za prepoznavanje za obradu glasa, uključujući ulazni uzorak, zatim pretprocesiranje, izdvajanje karakteristika i na kraju odluka. Algoritmi koji su se nekad koristili za istraživanje načina za prepoznavanje govornika koriste se i danas, gde se mogu podeliti u četiri velike klase: diskriminaciona analiza zasnovana na Bajesevom pravilu, skriveni Markovljevi modeli, dinamičko programiranje (DTW) i neuronske mreže [11][17].

Sistemi za kontrolu pristupa sve češće koriste biometrijsku autentikaciju. Usled osetljivosti biometrijskih podataka, koji se ne mogu zameniti, potrebno je posebno obratiti pažnju na bezbedonosni aspekt sistema. Jedan od metoda je taj da se primeni sistem pomoću prepoznavanja glasa, tako što bi se identifikovao govornik. Glavna prednost biometrije jeste u tome što pruža informacije ko neko jeste, umesto toga šta zna ili poseduje [7]. Kako bi se obezbedio adekvatan kvalitet usluge, predlaže se metod kontole pristupa koji se može upotrebiti i u IoT tehnologijama. Dowling et al. [5] su predstavili klasu šema verovatnoće za kontrolu pristupa. Okidač za promenu verovatnoće je mera trenutnog opterećenja. Motivacija kontrole pristupa je predložen paket podataka u slotovima, koji posmatra da li je glasovna aktivnost niska (da se umanji prenos podataka) ili je opterećena kada je glas jak.

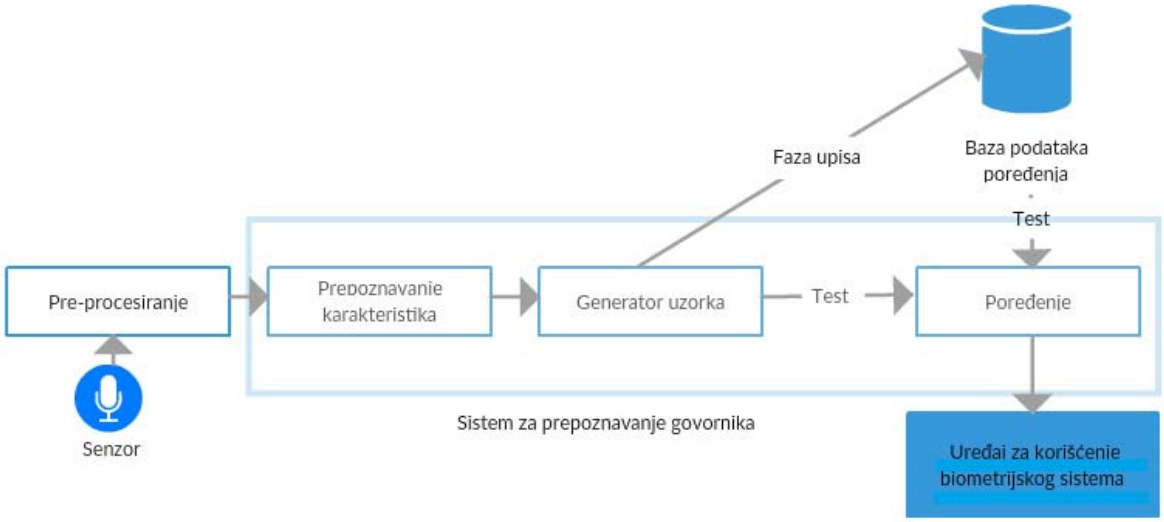
Širenjem IoT tehnologije, mora se obezbediti funkcionalna sposobnost sistema kontrole. Malavasi et al. predložili pojednostavljen interfejs gde se zaštita sistema vrši glasom, te je napravljen prototip zasnovan na OpenHAB tehnologiji, gde im je ključni cilj bio niski troškovi i upravljanje glasom putem mobilnog telefona [12].

3. PREPOZNAVANJE GOVORNIKA

Pre desetak godina prepoznavanje zvuka i govora se činilo kao nepraktično, ali razvojem sve bržih računara i sklopova, kao i razvojem novih metoda i algoritama prepoznavanja istih sve češće vidimo primene prepoznavanja govora. Govor je kontinualni zvučni tok gde se stabilna stanja mešaju sa dinamički promenljivim stanjima. Akustička svojstva koje glasovi imaju u svojim talasima mogu da se menjaju u zavisnosti od mnogo faktora – kontekst glasa, govornik, stil govora itd. Koartikulacija može učiniti da glasovi zvuče veoma različito od onoga kako su oni predstavljeni.

Prepoznavanje glasa predstavlja tehnologiju kojom se osoba identifikuje ili verifikuje koristeći sopstveni glas, a pomoću karakteristika koje se određenim algoritmima izdvajaju iz zvučnog zapisa. Korišćenje glasa za potrebe kontrole pristupa informacijama predstavlja najprirodniji i najekonomičniji metod. Prepoznavanje govornika može se podeliti na dve faze. Prva se odnosi na tzv. fazu obuke modela govornika, a druga faza predstavlja tzv. fazu u kojoj se realizuje prepoznavanje govornika. Prvi korak je identičan u obe faze, predobrada govora i izdvajanje vektora obeležja, čiji je osnovni cilj kodovanje govora u formu kojom se poste velika diskriminacija između iskaza koji potiču od različitih govornika i velika sličnost između iskaza koji potiču od istih govornika. Uobičajen proces prepoznavanja glasa (slika 1) izvodi se kroz sledeće korake: snimanje glasa, pretprocesiranje i konvertovanje u digitalni oblik, izdvajanje karakteristika, klasifikacija,

donošenje odluke. U razvoju i evaluaciji imamo dve faze. Prva je faza upisa (eng. enrollment), gde se putem senzora snima glas određenog govornika, izdvajaju se karakteristike i formira se uzorak ili model datog govornika. Druga faza je faza testiranja gde osoba daje novi uzorak tako što govori u mikrofon, a on se zatim upoređuje sa bazom iz faze upisa. Poređenjem dobijamo određeni rezultat koji predstavlja verovatnoću sa kojom je sistem siguran da je govornik onaj za koga se predstavlja ili da je osoba pronađena u bazi. Tako se kreira baza koja će u fazi testiranja koristiti za poređenje sa novim uzorkom. Zatim se ti isti podaci detektuju, gde se ponovno izdvajaju karakteristike.



Slika 1 Proces prepoznavanja govornika

Algoritmi koji se koriste za prepoznavanje govornika i koje je potrebno izdvojiti su:

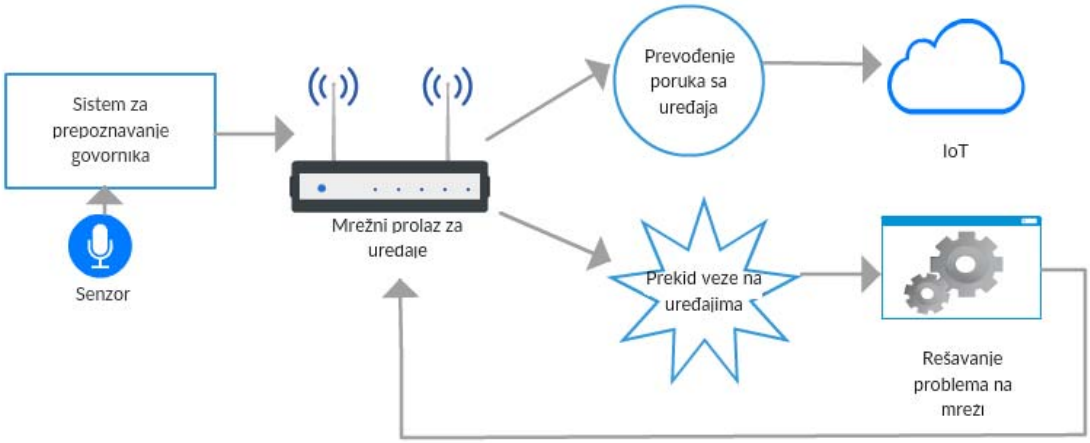
- Prepoznavanje govora zasnovano na skrivenom Markovljevom modelu - jedan od statističkih modela koji proizvodi niz simbola ili kvantiteta. Razlog zbog kojeg se upotrebljavaju Markovljevi modeli su ti što se govorni signal može posmatrati kao po delovima stacionarni signal ili kratkotrajan stacionarni signal, odnosno može se pretpostaviti da u kratkom vremenskom periodu od 10 milisekundi, govor može biti shvaćen kao stacionaran proces [18].
- Brza Furijeova transformacija - FFT (eng. Fast Fourier Transformation) – predstavlja analizator magičnom kutijom, u koju se ubacuje signal i koji kao izlaz daje odgovarajući spektar. Pretpostavka je da spektar obično govori istinu [14].
- LPC tehnika (eng. Linear predictive coding) - tehnika analize govora, odnosno korisna metoda za kvalitetno kodiranje govora pri niskom - bit rate-u. Glavna ideja kod LPC-a je aproksimacija trenutnog uzorka govora linearnom kombinacijom prošlih uzoraka govora [3].
- GMM model - probabilistički model koji predstavlja sve tačke podataka koje su generisane mešavinom konačnih brojeva (Gausova raspodela sa nepoznatim parametrima). Algoritam se sastoji iz dva koraka. Prvi je procenjivanje distribucije datog podatka i trenutne vrednosti parametara. Drugi korak pronalazi parametar koji maksimizira vrednost distribucije. Rezultat je mešoviti model gustoće verovatnoće za svaku klasu fonema [1].
- Neuronske mreže - sistem sastavljen od više jednostavnih jedinica, neurona. Svaki od neurona pamti podatke, obično numeričke vrednosti. Neuroni su međusobno povezani komunikacionim kanalima [9].

.

4. PREDLOG REŠENJA SISTEMA ZAŠTITE PUTEM PREPOZNAVANJA GOVORNIKA U IOT TEHNOLOGIJAMA

U prepoznavanju govornika imamo govorni signal koji se mora izgraditi preko modela koji će se sastojati od gramatičke strukture i koji će koristiti neku vrstu statističkog modela za poboljšanje prepoznavanja, kako bi se došlo do konačnog i ispravnog rezultata. Usled osetljivosti biometrijskih podataka, koji se ne mogu zameniti, potrebno je posebno obratiti pažnju na bezbedonosni aspekt sistema za prepooznavanje govornika. Dolazimo do zaključka da je od velike je važnosti obezbediti podatke koji se koriste u IoT tehnologijama. Jedan od načina je da se projektuje biometrijski sistem koji putem prepoznavanja govornika osigurava

podatke u IoT tehnologijama (Slika 2). U prethodnom poglavlju je već objašenjeno na koji način se vrši proces prepoznavanja govornika. Taj procese omogućava dalju međusobnu komunikaciju na svim tačkama konekcije, tako da se podaci nikada ne mogu razmeniti ukoliko se ne izvrši potvrda identiteta. Kada se izvrši autentifikacija i autorizacija, sistem dalje šalje podatke na mrežni prolaz za uređaje, u zavisnosti koji uređaj koristimo za ulaz. Sledeći korak je prevođenje određenih poruka koje smo dobili unosom u konkretan uređaj. Tu se analazira proces i obrađuju podaci koji generišu poruke između povezanih uređaja bez potrebe za upravljanje infrastukturom. Te poruke se transformišu i odlase u cloud servis, odnosno u IoT sistem. Ako dođe do prekida uređaja na mrežnoj vezi, svaki uređaj ulazi u stanje otklanjanja problema putem određene aplikacije, te se ponovo šalje na proveru u sistem za mrežni prolaz.



Slika 2 Arhitektura sistema zaštite putem prepoznavanja govornika u IoT tehnologijama

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je predlog rešenja prepoznavanja govornika kao sistem zaštite koji se može implementirati u jedan sistem IoT tehnologije. Ovakva rešenja su od velike važnosti kako bismo što više sačuvali svoje podatke i ne dozvolili upravljanje uređajima bez našeg nadzora.

IoT tehnologije brzo napreduje, te tradicionalne metode zaštite donose određene rizike. Ovaj rad dokazuje da je bolje rešenje biometrijska bezbednost, a posebno prepoznavanje govornika. Korišćenje glasa za potrebe kontrole pristupa informacijama predstavlja najprirodniji i najekonomičniji metod. Prirodnost se zasniva na činjenici da je govor urođena sposobnost čoveka, tako i u slučaju drugih sistema koji su zasnovani na fiziološkim obeležjima čoveka, svojstvo razlikovanja se najčešće ne može zaboraviti ili izgubiti.

Dalje istraživanje u ovoj oblasti donelo bi pregršt novih predloga za sistem zaštite u IoT tehnologijama, sa posebnim osvrtom na biometijske tehnologije. Prednost je što nisu potrebni specijalni čitači za glas, već uređaji koje svi imamo (telefon, mikrofon...). Ono što je bitno je da potrebno je izvršiti detaljnije testiranje, te ispitivanje kako bi se što bolje ispitala mogućnost ovakvog sistema. Na taj način se otvara mogućnost za što veća istraživanja.

LITERATURA

[1] Bacchiani, M., Senior, A., & Heigold, G. (2014). Asynchronous, online, GMM-free training of a context dependent acoustic model for speech recognition. In Fifteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association.

[2] Darianian, M., & Michael, M. P. (2008). Smart home mobile RFID-based Internet-of-Things systems and services. In 2008 International conference on advanced computer theory and engineering (pp. 116-120). IEEE.

[3] Dave, N. (2013). Feature extraction methods LPC, PLP and MFCC in speech recognition. International journal for advance research in engineering and technology, 1(6), 1-4.

[4] Ding, J., & Shi, J. Y. (2017). Hybridized estimations of support vector machine free parameters C and γ using a fuzzy learning strategy for microphone array-based speaker recognition in a Kinect sensor-deployed environment. Multimedia Tools and Applications, 1-23.

[5] Dowling, K. J., & Mueller, G. G. (2006). U.S. Patent No. 7,031,920. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[6] Fabian, B., & Gunther, O. (2007). Distributed ONS and its Impact on Privacy. In Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on (pp. 1223-1228). IEEE.

[7] Feix, W. H., & Ruell, H. E. (1988). Personal access control system using speech and face recognition. The Journal of the Acoustical Society of America, 83(3), 1211-1211.

[8] Gong, N. Z., Ozen, A., Wu, Y., Cao, X., Shin, R., Song, D., ... & Bao, X. (2017). PIANO: Proximity-based User Authentication on Voice-Powered Internet-of-Things Devices. arXiv preprint arXiv:1704.03118.

[9] Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013). Speech recognition with deep recurrent neural networks. In Acoustics, speech and signal processing (icassp), 2013 ieee international conference on (pp. 6645-6649). IEEE.

[10] Jain, A. K., & Nandakumar, K. (2012). Biometric Authentication: System Security and User Privacy. IEEE Computer, 45(11), 87-92.

[11] Jelinek, F. (1976). Continuous speech recognition by statistical methods. Proceedings of the IEEE, 64(4), 532-556.

[12] Malavasi, M., Turri, E., Motolese, M. R., Marxer, R., Farwer, J., Christensen, H., ... & Green, P. (2016). An innovative speech-based interface to control AAL and IoT solutions to help people with speech and motor disability. In Italian Forum of Ambient Assisted Living (pp. 269-278). Springer, Cham.

[13] Ning, H., & Liu, H. (2015). Cyber-physical-social-thinking space based science and technology framework for the Internet of Things. Science China Information Sciences, 58(3), 1-19.

[14] Singh, N., & Khan, R. A. (2015). Speaker Recognition and Fast Fourier Transform. International Journal, 5(7).

[15] Tickoo O., Iyer R. (2017) From Data to Recognition. In: Making Sense of Sensors. Apress, Berkeley, CA

[16] Wang, J. C., Wang, C. Y., Chin, Y. H., Liu, Y. T., Chen, E. T., & Chang, P. C. (2017). Spectral-temporal receptive fields and MFCC balanced feature extraction for robust speaker recognition. Multimedia Tools and Applications, 76(3), 4055-4068.

[17] Young, S. (1996). A review of large-vocabulary continuous-speech. IEEE signal processing magazine, 13(5), 45.

[18] Yu, D., & Deng, L. (2014). Automatic speech recognition: A deep learning approach. Springer.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OPTIMIZACIJA ALGORITMA ZA SEGMENTACIJU REGISTARSKIH TABLICA U USLOVIMA OTEŽANE DETEKCIJE

AN OPTIMIZATION OF NUMBER PLATE RECOGNITION ALGORITHM FOR IMPERFECT DETECTION CONDITIONS

HANA STEFANOVIĆ[1], RADOSAV VESELINOVIĆ[2]

[1] Visoka škola strukovnih studija za IT, Beograd, hana.stefanovic@its.edu.rs
[2] Ekonomski fakultet, Beograd, veselinovic.ceda@gmail.com

Rezime: *U ovom radu predloženi su različiti optimizacioni postupci prilikom izdvajanja obeležja registarskih tablica u cilju identifikacije vozila, u uslovima otežane detekcije tabličnog regiona. Predloženi algoritam, realizovan u MATLAB programskom okruženju, obuhvata lokalizaciju i segmentaciju tablice, kao i izdvajanje očitanih karaktera, a nakon manjih modifikacija mogao bi se koristiti u okviru sistema za automatsko prepoznavanje registarskih tablica (ANPR – Automatic Number Plate Recognition). Algoritam uključuje i predobradu slike, uklanjanje šuma, korekciju senke i odsjaja, dodatno filtriranje u slučaju magle ili drugih klimo-geografskih uslova koji otežavaju detekciju, kao i dodatnu obradu primenom Hough-ove transformacije u slučaju iskošenih snimaka tabličnog regiona. Nakon odgovarajuće predobrade i primene predloženog postupka, sa velikom tačnošću dobijaju se segmentirani karakteri, primenom nekog od standardnih postupaka za optičko prepoznavanje karaktera (OCR – Optical Character Recognition).*

Ključne reči: *Automatsko prepoznavanje registarskih tablica (ANPR–Automatic Number Plate Recognition), Hough-ova transformacija, optičko prepoznavanje karaktera (OCR–Optical Character Recognition), otežana detekcija.*

Abstract: *This paper provides an optimization of a simple MATLAB-based technique for Automatic Number Plate Recognition (ANPR). Digital image segmentation, after resizing image and removing noise, is applied, while some edge detection algorithms and some morphological techniques are used. Additional spatial filtering and Hough transformation are applied to compensate the variables that can affect the ANPR's ability to produce an accurate read, such as time of day, weather and angles between the cameras and the license plates. Free Optical Character Recognition (OCR) software is used to output results.*

Keywords: *Automatic Number Plate Recognition (ANPR), Hough transformation, Optical Character Recognition (OCR), imperfect detection.*

1. UVOD

Oblast primene sistema za automatsko prepoznavanje registarskih tablica (ANPR – *Automatic Number Plate Recognition*) obuhvata: kontrolu saobraćaja, kontrolu pristupa privatnim i poslovnim objektima, u policijskom sektoru, kao i u javnoj sigurnosti i transportu na carinama, parkinzima i naplatnim rampama (Patel *et al*. 2013).. ANPR tehnologija uglavnom koristi visokokvalitetne megapikselne kamere, kao i odgovarajući softver za prepoznavanje i klasifikaciju registarskih tablica (Anagnostopoulos *et al*. 2008), ali i interpretaciju znakova sa tablica i prikaz alfanumeričkog niza koji predstavlja sadržaj tablice (OCR – *Optical Character Recognition*), koji uključuje uglavnom i menadžment baze podataka.

ANPR tehnologija je takođe važna i u cilju identifikacije ukradenih ili neregistrovanih vozila, zatim u cilju regulisanja kontrole pristupa obezbeđenim objektima, a ima primenu i u sistemima za praćenje, kontrolu i upravljanje saobraćajem, kao i za nadgledanje korporacijskih vozila, uključujući i kontrolu odvijanja javnog i privatno-komercijalnog saobraćaja kompanija (Saha *et al*. 2009).

Algoritmi koji se koriste u ANPR sistemima uključuju detekciju područja registarske tablice i segmentaciju selektovanog područja, a u cilju izdvajanja i prepoznavanja znakova na tablici veliki značaj svakako ima i primena algoritama za detekciju ivice u digitalnoj slici (Saha *et al*. 2009, Chong *et al*. 2013, Lalimi *et al.* 2013). U cilju smanjenja uticaja uslova osvetljenja, kao i uticaja vremenskih uslova na pouzdanost ANPR algoritama, poželjno je koristiti visokospecijalizovane kamere. Neke kamere koriste

infracrveni deo spektra da bi se u što većoj meri eliminisao problem osvetljaja i reflektivnosti registarske tablice, dok se poboljšanje kontrasta prema reflektivnoj podlozi može se postići i upotrebom retroreflektivnih tablica i retroreflektivnih folija, sa ciljem reflektovanja svetlosti u smeru prema izvoru, dok na nekim tablicama samo znakovi na tablicama nisu reflektivni, čime se dodatno povećava stepen kontrasta prema reflektivnoj podlozi. Najčešće je i vodeni žig sadržan u retroreflektivnoj foliji.

Svakako je izbor adekvatne kamere važan faktor za pravilno funkcionisanje kompletnog ANPR sistema, mada u okviru ovog rada nisu korišćene profesionalne visokokvalitetne kamere. Ulazne slike na koje je primenjen predloženi algoritam snimljene su u uslovima dnevne svetlosti, kao i noću, pod pretpostavkom da se vozilo ne kreće ili se kreće malom brzinom. Fotografije su snimljene kamerom mobilnog telefona od 13 megapixel, sa Carl Zeiss optikom, dok je u noćnim uslovima korišćen dupli LED blic. Algoritam prikazan u ovom radu prilagođen je identifikaciji obležja registarskih tablica sa područja Republike Srbije, koje su dimenzija 520,5×112,9 mm, sa međunarodnom oznakom Republike Srbije - "SRB" u plavom polju na levoj strani, zatim dvoslovnom latiničnom oznakom registracionog područja, grbom Republike Srbije - crvenim štitom sa četiri ocila, ispod kojeg se nalazi manja ćirilična oznaka registarskog područja, nakon čega sledi registarski broj. Registarski broj vozila sastoji se od kombinacije tri cifre (od "0" do "9") i kombinacije dva slova između kojih je horizontalna crtica. Slova registarskog broja su sva slova latiničnog pisma, sa dodatkom slova "X", "Y" i "W". Osim laserski ugraviranog broja i holograma visoke sigurnosti, na tablici se nalazi i folija sa sigurnosnim žigom.

Algoritam izdvajanja obeležja registarskih tablica implementiran u ovom radu, obuhvata lokalizaciju i segmentaciju tablice, kao i izdvajanje očitanih karaktera, a realizovan je u MATLAB programskom okruženju. Ulazne slike na koje je primenjen algoritam snimljene su u uslovima dnevne svetlosti, kao i noću, dok je u uslovima magle ili drugih klimo-geografskih faktora koji otežavaju ispravnu detekciju, kao i u slučaju iskošenih snimaka, primenjeno je adaptivno filtaranje, kao i Hafova transformacija (*Hough transformation*) u cilju detekcije pravih linija, što je važno prilikom izdvajanja samog tabličnog regiona. Nakon odgovarajuće predobrade i obrade slike, dobijeni segmentirani karakteri prikazani su formatu koji bira korisnik, upotrebom besplatnih OCR alata za prepoznavanje teksta sa slike, kao što su Free Image OCR, Free Easy OCR, OnlineOCR, Recognita i drugi (http://www.onlineocr.net/). Čuvanje dobijenih rezultata u bazi podataka, kao i upravljanje bazom podataka, nisu obuhvaćeni ovim radom, dok bi implementacija dodatnih mogućnosti pretrage video arhive, kao i prikaz u realnom vremenu na nekom standardnom klijentskom modulu značajno doprineli kvalitetu aplikativnosti predloženog algoritma.

2. OPIS ALGORITMA

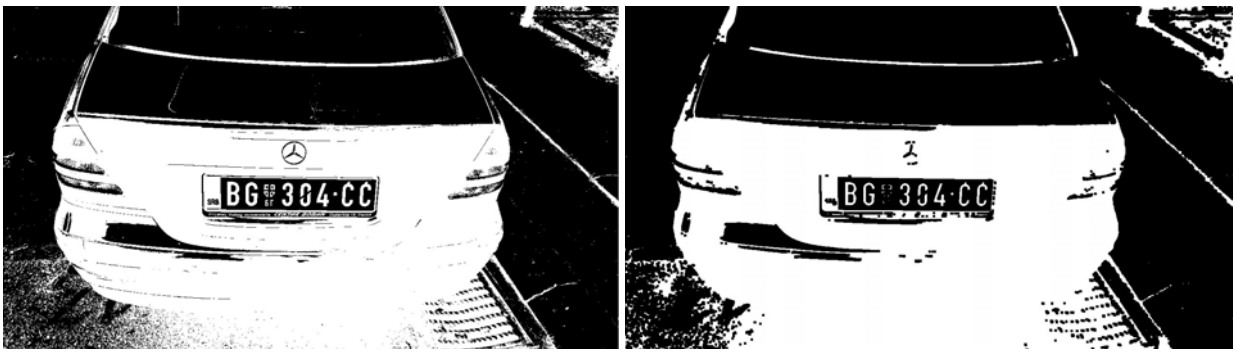
Uklanjanje šuma ulazne slike izvršeno je Median filtrom (Gonzalez *et al.* 2009). Nakon binarizacije slike, izvršena je detekcija ivica Sobelovim detektorom Wang (2009), posle čega su primenjene operacije erozije i dilatacije naizmenično, koristeći isti strukturni element. Uticaj izbora vrste detektora ivica analiziran je u Stefanović *et al.* (2015), dok su različiti postupci segmentacije i izdvajanja regiona ilustrovani u (Gonzalez *et al.* 2009). Postupkom binarizacije dobija se slika čiji pikseli imaju samo dve vrednosti, 0 ili 1, pri čemu je vrednost praga binarizacije vrlo bitna za proces izdvajanja regiona tablice, i može se sprovoditi sa fiksnom ili promenljivom vrednošću.

Primenom prvo dilatacije, pa zatim erozije, realizuje se oparacija zatvaranja. Efekt koji se postiže zatvaranjem je popunjavanje praznina manjih od strukturnog elementa, čije dimenzije (u broju piksela) zavise od pretpostavljenog razmaka između karaktera na registarskoj tablici, a korisnik tokom vršenja algoritma može menjati i prilagođavati veličinu strukturnog elementa. Primenom ove operacije popunjavaju se praznine nastale postupkom binarizacije i izdvajanja ivica, popravlja se i okvir tablice i izbegava mogućnost segmentacije tablice na više manjih delova, što bi svakako otežalo detekciju. Operacija otvaranja sastoji se od primene prvo erozije, pa zatim dilatacije. Efekat koji se postiže otvaranjem je uklanjanje nepotrebnih ili neželjenih delova slike, odnosno brisanje objekata manjih od strukturnog elementa, čije dimenzije korisnik može da menja tokom vršenja algoritma. Primenom operacije otvaranja se takođe uklanja šum sa slike i vrši razdvajanje objekata povezanih tankim linijama.

Ulazna slika prikazana na Sl.1. snimljena je u uslovima dnevne svetlosti, kamerom mobilnog telefona od 13 megapixel, sa Carl Zeiss optikom., dok je uticaj izbora praga binarizacije u cilju isticanja važnih delova slike, prikazan na Sl.2.a) i b). Izdvajanje tabličnog regiona, nakon uklanjanja šuma Median filtrom, prikazano je na Sl.3.a), detekcija ivica primenom Sobelovog detektora na Sl.3.b), rezultat primene operacije erozije i dilatacije naizmenično, koristeći isti strukturni element oblika diska, čiji se radijus zadaje brojem piksela, na Sl.3.c), a eliminacija oblasti regiona oznake marke vozila (Mercedes) na osnovu analize horizontalne i vertikalne projekcije digitalne slike Stefanovic *et al.* (2017), ilustrovana je na Sl.3.d).

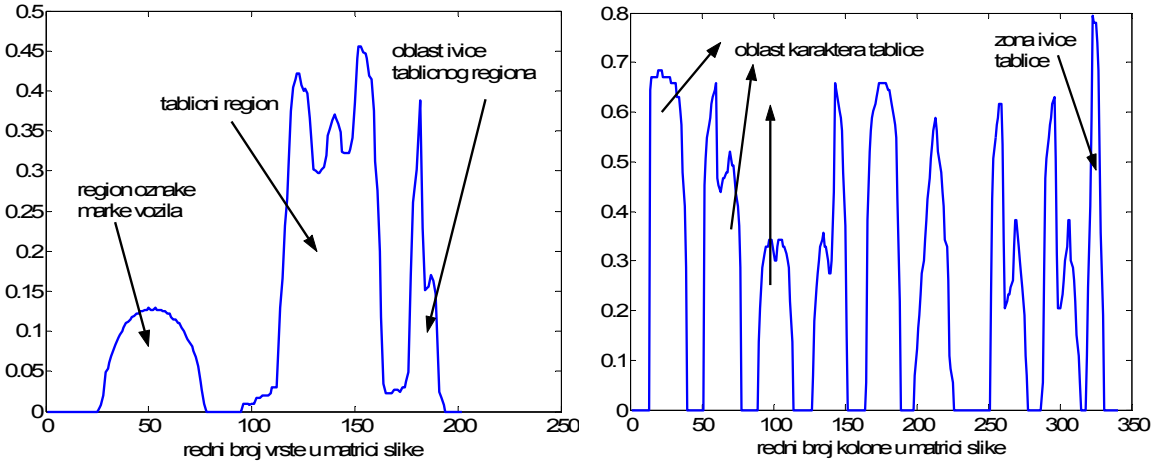
Grafici horizontalne i vertikalne projekcije prikazani su na Sl.4.a) i b), respektivno.

Slika 1: Originalna slika snimljena u uslovima dnevne svetlosti



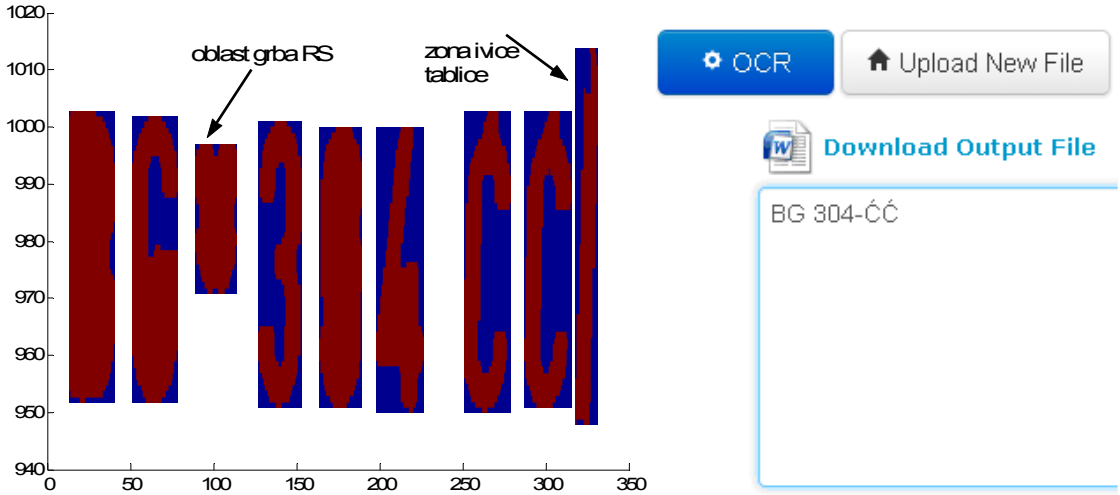
Slika 2: Uticaj izbora praga binarizacije na proces izdvajanja regiona tablice

Slika 3: a) Uklananje šuma Median filtrom **b)** Izdvajanje ivica Sobelovim detektorom **c)** Rezultat primene operacije erozije i dilatacije **d)** Eliminacija oblasti regiona oznake marke vozila



Slika 4: a) Vertikalna projekcija **b)** Horizontalna projekcija

Analiza vertikalne i horizontalne projekcije izvršena je u cilju jasnijeg definisanja tabličnog regiona i oblasti u kojima se nalaze karakteri. Vertikalna projekcija prikazana je na Sl.4.a), sa jasno izdvojenim regionom tablice, na osnovu čega se može eliminisati oblast regiona oznake marke vozila, dok je detekcija oblasti određenog karaktera, koja je identifikovana kao prostor između uzastopnih pikova funkcije na grafiku horizontalne projekcije, prikazana na Sl.4.b). Identifikacija ove oblasti moguća je čak i ako korisnik nema podatak o minimalnoj širini ili visini karaktera na tablici, a takođe je moguće registrovati i oblast oznake grba sa četiri ocila, ispod kojeg se nalazi manja ćirilična oznaka registarskog područja, što se lako može eliminisati u daljem postupku. Nakon eliminacije ivičnog regiona tablice, kao i grba Republike Srbije, sa velikom tačnošću dobijaju se segmentirani karakteri, što je prikazano na Sl.5.a), a primenom nekog od standardnih postupaka za optičko prepoznavanje karaktera (OCR - *Optical Character Recognition*) koristeći neki od besplatnih OCR alata za prepoznavanje teksta sa slike, kao što su Free Image OCR, Free Easy OCR, OnlineOCR, Recognita i drugi, dobija se rezultat ispisan u formatu koji bira korisnik (http://www.onlineocr.net/), što je prikazano na Sl.5.b).



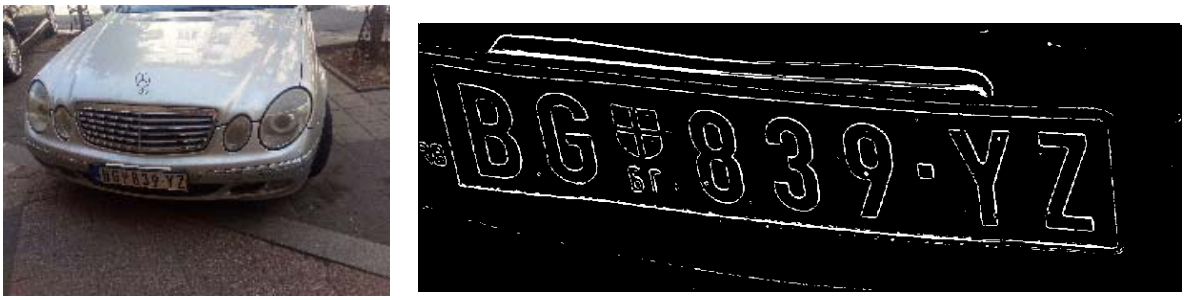
a) b)

Slika 5: a) Prikaz segmentiranih karaktera **b)** Prikaz prepoznatih karaktera upotrebom besplatnih OCR alata

Otežani uslovi detekcije i segmentacije u smislu pokrivenosti dela tablice senkom, zatim u slučaju oštećenja ili zaprljanosti dela tablice, velikog stepena iskošenosti tablice i slično, zahtevaju dodatnu predobradu i obradu slike. U okviru ovog rada primenjeno je adptivno filtriranje i korišćena je Hafova transforamacija (*Hough transformation*) (Duda and Hart 1972, Stefanovic *et al.* 2015) u cilju detekcije pravih linija u digitalnoj slici, što je značajno u slučaju iskošenih snimaka.

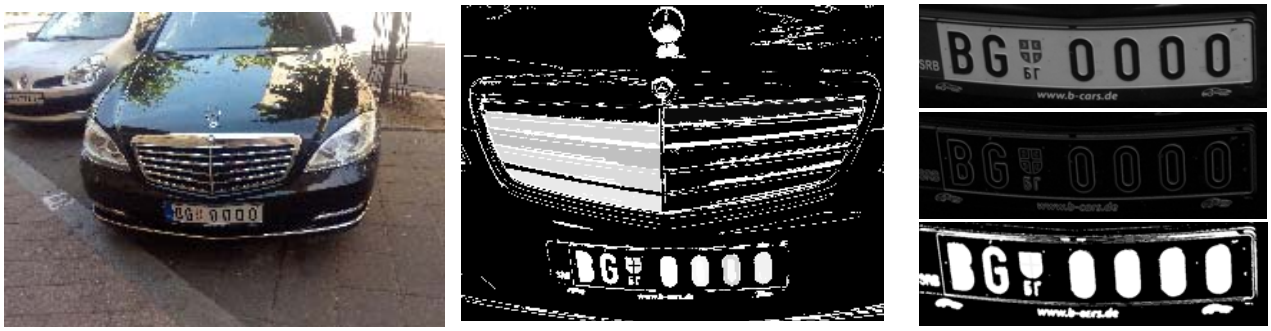
3. REZULTATI PRAKTIČNE IMPLEMENTACIJE

Konkretno, u slučaju analiziranog vozila marke Mercedes, postoji mogućnost detekcije oznake marke vozila kao karaktera O ili cifre 0, ukoliko se proces izdvajanja tablice ne izvrši korektno, kao i u slučaju postojanja latiničnog slova G i cifre 6 u oblasti tabličnog regiona. Takođe, algoritam je prilagođen za jednoredne tablice, dok bi za slučaj dvorednih bile neophodne neke modifikacije. U slučaju izražene magle, ili ukoliko je slikano vozilo u pokretu, zamagljenje je smanjeno ili eliminisano upotrebom Motion Blur filtra (Gonzalez *et al.* 2009). Detekcija u nekim od ovih konkretnih situacija ilustrovana je na Sl.6, Sl.7, Sl.8 i Sl.9.



Slika 6: Detekcija u slučaju iskošenih tablica u nepovoljnim klimo-geografskim uslovima (magla ili padavine)

Slika 7: Detekcija u slučaju iskošenih tablica, izbor srtukturnog elementa prilikom erozije i dilatacije da bi se jasnije razlikovali karakter G i cifra 6

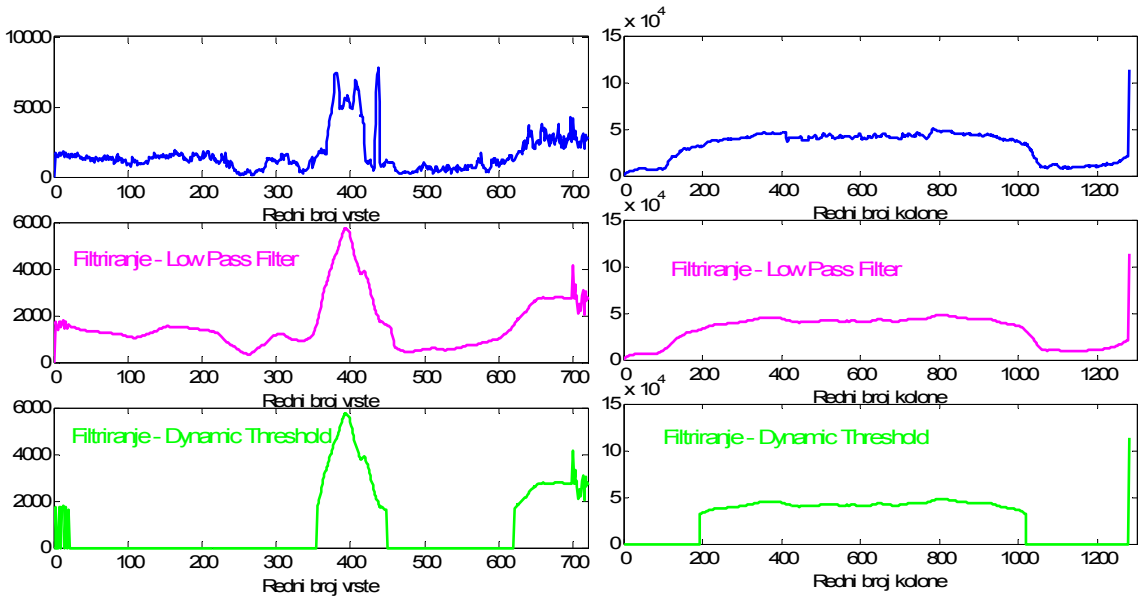


Slika 8: Detekcija u slučaju karaktera O i cifre 0, eliminacija oznake marke vozila Mercedes

Slika 9: Detekcija u slučaju vozila u pokretu (prilikom parkiranja), uz primenu Motion Blur filtra

U slučaju dodatnog filtriranja, izvršena je analiza histograma vertikalne i horizontalne projekcije slike, u cilju preciznijeg lociranja tabličnog regiona. Nakon analize histograma verikalne projekcije, prikazane na Sl.10.a) jasnije se može izdvojiti oblast ivice tabličnog regiona, region oznake marke vozila, kao i sam tablični region, dok se nakon analize histograma horizontalne projekcije detektuje oblast u kojoj su smešteni karakteri tabličnog regiona, kao što je ilustrovano na Sl.10.b).

Pravci budućih istraživanja svakako će se odnositi na analizu mogućnosti integracije sa algoritmima za prepoznavanje slova, kao i mogućnosti dodavanja nekih sintaksinih pravila, što bi sigurno doprinelo unapređenju opisanog algoritma, uključujući i upotrebu metoda veštačke inteligencije, i tehnika korišćenih u postojećim OCR sistemima. Bez obzira da li bi se implementirani algoritam za prepoznavanje slova oslanjao na poređenje sa šablonom, statističke metode ili identifikaciju granica objekata, odnosno vektorizaciju slike, bila bi neophodna analiza mogućnosti integracije sa algoritmom izloženim u ovom radu.



Slika 10: Analiza histograma a) vertikalne projekcije i b) horizontalne projekcije

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati praktične implemenatcije jednog jednostavnog algoritma izdvajanja obeležja registarskih tablica, koji obuhvata odgovarajuću predobradu slike, lokalizaciju i segmentaciju tablice, kao i izdvajanje očitanih karaktera, a realizovan je u MATLAB programskom okruženju, uključujući i dodatnu obradu u uslovima otežane detekcije.

LITERATURA

[1] Patel, C., Shah, D., & Patel, A. (2013). Automatic Number Plate Recognition System (ANPR): A Survey. International Journal of Computer Applications, vol.69, 9, 21-33.

[2] Anagnostopoulos, C.N.E., Anagnostopoulos, I.E., Psoroulas, I.D., Loumos, V., & Kayafas, E. (2008). License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: A Survey. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol.9, 3, 377–391.

[3] Saha, S., Basu, S., Nasipuri, M., & Basu, D.K. (2009). License Plate localization from vehicle images: An edge based multi-stage approach. Int. J. of Recent Trends in Engineering, vol.1, 1, 284-288.

[4] Chong, J., Tianhua, C., & Linhao, J. (2013). License Plate Recognition Based on Edge Detection Algorithm. Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 395-398.

[5] Lalimi, M.A., Ghofrani, S., & McLernon, D. (2013). A vehicle license plate detection method using region and edge based methods. Computers & Electrical Engineering, vol.39, 3, 834-845.

[6] http://www.onlineocr.net/

[7] Gonzalez, R.C., Woods, R.E., & Eddins, S.L. (2009). Digital Image Processing Using MATLAB, Knoxville, TN: Gatesmark Publishing.

[8] Wang, W. (2009). Reach on Sobel Operator for Vehicle Recognition. International Joint Conf. on Artificial Intelligence, California, USA, 448-451.

[9] Stefanović, H., Štrbac-Savić, S. & Milić. D. (2015). Poređenje performansi različitih metoda detekcije ivice u digitalnoj slici. Int. Scientific Conf. of IT and Business-Related Research (Synthesis 2015), Belgrade, Serbia, 123-128.

[10] Stefanovic, H., Miletic, A., Milic, D., Nikolic Z., & Bandjur M. (2017). Implementacija algoritma za izdvajanje obeležja registarskih tablica u MATLAB programskom okruženju, Međunarodni simp. INFOTEH 2017, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 597-602.

[11] Duda, R.O., & Hart, P.E. (1972). Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures. Commun. Ass. Comput. Mach., vol. 15, 11-15.

[12] Stefanovic, H. Strbac-Savic, S. & Milic, D. (2015). Detection of straight-line segments in digital image using the Hough Transform in MATLAB. Int. Conf. Science and Higher Education in Function of Sustainable Development (SED 2015), Uzice, Serbia, 2-1–2-6.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SOFTVERSKE METODOLOGIJE U ULOZI KVALITETA SOFTVERSKIH REŠENJA

SOFTWARE METHODOLOGIES IN THE ROLE OF THE QUALITY OF SOFTWARE SOLUTIONS

SAŠA BOŠNJAK[1], TATJANA DAVIDOV[2]

[1] University of Novi Sad, Faculty of Economics in Subotica, sasabosnjak1996@gmaiil.com
[2] University of Novi Sad, Faculty of Economics in Subotica, tanja.davidov1@gmail.com

Rezime: *Metodologije razvoja softverskih rešenja konstantno se menjaju i napreduju u skladu sa razvojem softverskih alata i informacionih tehnologija. Klasične tradicionalne metodologije nadograđuju se novim pouzdanijim i fleksibilnijim razvojnim tehnikama. Komponentno baziran razvoj softvera (KBRS), jedan od pravaca tradicionalne softverske metodologije, zauzeo je primat u razvojnoj softverskoj industriji. Nove metodološke trendove zastupaju agilne metodologije, koje su fleksibilnije, ali i rađe usmerene ka manjim segmenata softverskog sistema, takozvanim softverskim iteracijama. Metodologija razvoja softvera utiče na kvalitet softvera. U ovom radu želimo da ukažemo na metodološke pravce, mogućnost njihovog međusobnog kombinovanja i njihovu ulogu u dostizanju određenog nivoa kvaliteta u razvoju softverskih sistema. S obzirom da je kvalitet vrlo kompleksan pojam, ukazaćemo na neke od bitnih elemenata kojima se deluje na kvalitet softvera i različita stanovišta posmatranja kvaliteta. Takođe ćemo predstaviti parametre kojima se procenjuje nivo kvaliteta softvera, kao i neke istaknute metrike merenja kvaliteta.*

Ključne reči: *Komponentno baziran razvoj softvera, агилни развој softvera, квалитет softvera, parametri kvaliteta softvera, softverske metrike kvaliteta.*

Abstract: *Software development methodologies are constantly changing and progressing in line with the development of software tools and information technologies. Classical traditional methodologies are being upgraded with new, more reliable and more flexible development techniques. Component based software development (CBSD), one of the approaches of traditional software methodology, has become dominant in the software development industry. New methodological trends represent agile methodologies, which are more flexible, but also preferable to smaller segments of the software system, the so-called software iterations. The software development methodology affects software quality. In this paper we want to emphasize the methodological directions, the possibility of their mutual combination and their role in achieving a certain level of quality in the development of software systems. Given that quality is a very complex concept, we will accentuate some of the essential elements that affect the software quality and the different aspects of quality observation. We will also present the parameters in order to assess the level of software quality, as well as some prominent software quality metrics.*

Keywords: *Component-based software development, agile software development, software quality, software quality parameters, software quality metrics.*

1. UVOD

Parametri kvaliteta softvera direktno impliciraju promenu svih drugih elemenata koji imaju ulogu u ocenjivanju softverskog rešenja, pri čemu se isti posmatraju sa dva stanovišta: (1) razvojnih softverskih aktivnosti i postupaka, ili (2) neposredne upotrebljivosti i svrsishodnosti razvijenog softverskog sistema.

Razvoj programskih jezika uticao je na usavršavanje i napredovanje softverskih metodoloških pravaca, koji su sve više preuzimali značajnu ulogu u realizaciji razvoja softverskih rešenja. Razvoj softverskih metodologija i softverskog rešenja, koje se generiše u sklopu određenog metodološkog radnog okvira, ima konkretnog uticaja na kvalitet softverskog proizvoda. Da bi se uticaj metodologije na kvalitet softverskog rešenja dokazao, vrlo je bitno formulisati metode i metriku kako se postignuti kvalitet u razvoju softvera, kao i u direktnoj implementaciji razvijenog softverskog rešenja, može i dokazati. U sklopu tradicionalnih metodoloških rešenja razvoja softvera, značajno mesto zauzima komponentno baziran razvoj (KBRS). Ovaj pravac karakteriše kreiranje i korišćenje već kreiranih gotovih softverskih rešenja, artifakata ili komponenti kojima se gradi softversko rešenje u sklopu dobro definisane i pouzdane softverske arhitekture. Arhitektura

KBRS garantuje kvalitet i pouzdanost softverskog rešenja. Uvažavajući sve prednosti i nedostatke ovakvog softverskog razvojnog pristupa i karakteristika tradicionalnih metodologija, grupa naučnika je kreirala novi savremeni metodološki pristup u razvoju softverskih rešenja, takozvani agilni pristup[1], koji se zasniva na agilnoj metodologiji, modelima i metodama. Agilna metodologija razvoja softvera generiše značajne i mnogobrojne prednosti u odnosu na tradicionalnu metodologiju. Prednosti agilnih metodologija ogledaju se u fleksibilnosti i brzini razvoja, udruženom timskom radu i znanju (Mohamed A. Awad, 2005), direktnoj saradnji sa korisnicima u procesu razvoja softverskih artifakata, što utiče na kreiranje svrsishodno softversko rešenje, a s tim u vezi i podizanju nivoa kvaliteta softvera. KBRS tako agilni pravac razvoja ima svoje prednosti i svoje mane, što govori da ni jedan pravac nije u potpunosti bolji ili lošiji od drugog.

Generalno posmatrano, neki softverski razvojni projekti mogu imati koristi od agilnog pristupa, dok drugi imaju koristi od manje agilnog i više intuitivnih i tradicionalnih pristupa. Sa ove perspektive, praktičan procesi razvoja softvera mogu biti klasifikovani duž spektra zavisno od njihovog stepena agilnosti. Na jednom kraju spektra (1) su čisto intuitivni (predskazujući i proračunati) procesi u kojima su koraci procesa definisani u detaljima, već u ranim fazama procesa softverskog razvoja. Ciljevi ovakvih procesa uglavnom ostaju relativno stabilni tokom životnog ciklusa softvera, dok se u (2) drugom kraju spektra nalaze čisto agilni procesi u kojima su koraci procesa razvoja i sami ciljevi projekta, potpuno dinamični. U agilnim procesima se faze procesa razvoja trenutno determinišu na osnovu analize: a) iskustva iz prethodno izvedenih procesnih koraka, b) sličnih iskustava stečenih van projekta koji se trenutno razvija, c) promene zahteva u razvojnom okruženju, koja se konstantno dešava. Sa ovog stanovišta posmatrano, agilnost procesa je determinisana prema stepenu do koga projektni tim može dinamički da prilagodi procese koji se zasnivaju na promenama u okruženju, promenama zahteva korisnika i na kolektivnom iskustvu programera. Praktično, procesi softverskog razvoja trebaju da pronađu svoju ulogu upravo negde između agilnog i čisto intuitivnog spektra posmatranja (Dan Turk, Robert France & Bernhard Rumpe, 2014).

2. SOFTVERSKE METODOLOGIJE U ULOZI KVALITETA SOFTVERA

Softver nije sasvim opipljiva roba kao svaka druga. Tipična osobina softvera je njegova funkcionalnost, a ne jednostavno samo njegova implementacija i upotreba. Fizički se softver ne procenjuje, a pogotovo što softverski kod najčešće nije prateća dokumentacija. Ova „nevidljivost“ upravo čini komplikovanom procenu kvaliteta softvera. Funkcionalnost softvera se višestruko procenjuje, a softverski kod i metode i postupci njegove proizvodnje su vrlo apstraktni i najčešće nisu prateći elementi koji se isporučuju uz gotovo softversko rešenje. Alati i tehnike kojima se „nevidljivi“ softverski kod razvija najčešće su uslovi kvaliteta softvera koji se ocenjuje tokom njegovog neposrednog razvoja, uvažavajući razvojnu metodologiju, ili tokom njegove neposredne primene ili održavanja.

Testiranje kvaliteta softvera uvek podrazumeva više aspekata. *Funkcionalno* testiranje (black box) kvaliteta softvera nastoji da ignoriše unutrašnje mehanizme kompleksnog softverskog sistema i komponenti i fokusira se isključivo na izlazne rezultate, odnosno parametre na izlazu, kao odgovore na definisane zahteve, uslove i ulazne parametre. *Strukturalno* testiranje (white box) kvaliteta softvera ima dve značajne prednosti: prva podrazumeva kreiranje slučajeva testiranja baziranih na logici aplikacije. Druga podrazumeva detekciju grešaka u softverskom kodu prolazeći kroz proceduralne putanje u logici izvršavanja softverskih proceduralnih petlji. Postoji niz metrika kojima se ovaj vid testiranja može realizovati. Testiranje softvera bi trebalo da se sprovodi mehanizmom (gray box), jer funkcionalno testiranje softvera svakako nije dovoljno. Ignorisanje strukturalnog testiranja bi dovelo do velikog procenta nekvalitetnog i lošeg softverskog koda, pa i samih metodoloških elemenata kojima se upravo softverski kod razvija (Mark Kevitt, BSc 2008). Metodologija razvoja softvera, kao i metode strukturnog i funkcionalnog testiranja softvera, predstavljaju skup procesa i alata kojima se generiše kvalitetan softverski sistem, kako sa stanovišta njegove funkcionalne upotrebljivosti, tako i sa stanovišta konkretnog razvoja softvera, faktora koji učestvuju u razvoju, komponenti kojima se softver razvija i u krajnjoj instanci programera koji vrše kodiranje. Stoga je razvoj softverskih metodologija i njihova primena u procesu razvoja, uslov za ostvarenje pozitivnih ocena u procesu strukturalnog i funkcionalnog testiranja kvaliteta softvera.

Kvalitet softvera je predmet diskusije mnogobrojnih autora, jer svaki autor poseduje subjektivni način razmišljanja ili na sopstveni, drugačiji način tumači pojam kvaliteta softvera, te je i izbor atributa kojima se isti može dokazati sasvim nekonzistentan (Mark Kevitt, BSc 2008). Kvalitet se može definisati nekom od sledećih definicija: „sklad sa zahtevima“, ili „neusaglašenost podrazumeva nedostatke“, „utisak kupaca“ ili „sloboda nedostataka“ (Daniel Galin 2004). Različita tumačenja kvaliteta takođe potiču od različitih metodologija razvoja. Razvoj softvera je proces koji se definiše kao Softverski inženjering (SI) (engl.

1 Manifesto for Agile Software Development: http://agilemanifesto.org/

Software Engineering) a merenje kvaliteta softvera se sprovodi u skladu sa aktivnošću „Osiguranje kvaliteta softvera“ (OKS) (Software Quality Assurance) . Kvalitet softverskog proizvoda se najčešće predstavlja sa stanovišta unutrašnjeg i spoljašnjeg načina izražavanja. Unutrašnje izražavanje kvaliteta softvera se ogleda u kvalitetu softverskog koda, što se predstavlja jasnim parametrom koji podrazumeva broj grešaka u kodu ili ispada tokom procesa implementacije softverskog rešenja. Proces Osiguranje kvaliteta softvera, podrazumeva skup aktivnosti kojima se procenjuje i upravlja kvalitetom softverskog proizvoda tokom njegovog razvoja sa ciljem unapređenja kvaliteta i zadovoljavanjem standarda i zahteva za kvalitetom softverskog rešenja. OKS definiše način merenja, ulazne i izlazne parametre za svaku fazu ili proces u kome se procenjuje kvalitet softvera koji se razvija. U skladu sa procesima OKS, vrlo je važno definisati metod kojim će se merenje kvaliteta sprovoditi, kao i parametre koje treba izmeriti da bi se dostignut optimalni kvalitet softvera mogao što preciznije dokazati. OKS takođe uzima u obzir i aktivnosti vezane za proces održavanja softverskog proizvoda, nakon njegovog razvoja i implementacije, zatim tehničko rešenje, obim i veličinu softvera, kao i predviđeni budžet. OKS nije samo jednostrana kontrola parametara kvaliteta, nego proces kojim se sveobuhvatno procenjuje softverski projekat tokom njegovog razvoja i nakon završetka razvoja. Aktivnosti proces OKS obavezno moraju da obuhvate i testiranje razvojnih parametara kojima se dokazuje postizanje optimalnog kvaliteta softvera, što podrazumeva istovremeno smanjenje troškova softverskog razvoja.

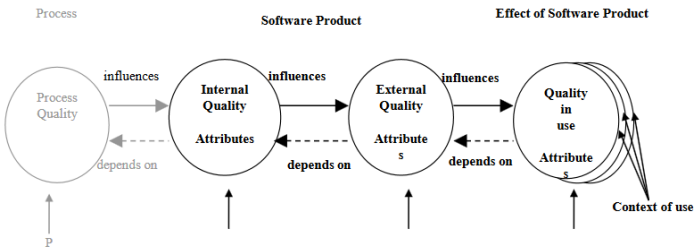
3. PROCENA KVALITETA SOFTVERA

Softverske kompanije koje se bave razvojem softvera podstiču ulogu softverskog inženjeringa i značaj softverskih metodologija u procesu razvojnih softverskih aktivnosti. Metodama razvijenog teoretskog znanja i praktičnim postupcima, utiče se na pravilno vođenjem softverskih projekata, a sve u svrhu dostizanja standarda u kvalitetu softvera. Šta čini kvalitet softvera i u kojim okvirima ga možemo posmatrati? Kvalitet softverskog proizvoda, postupci i metode njegovog razvoja i održavanja, primenljivost softverskog rešenja, mnogostruko se vrednuje i procenjuju. Kvalitet softvera se posmatra sa tri osnovna aspekta: (1) kvalitet softvera prema korisničkim shvatanjima, (2) kvalitet postupaka izrade softverskog proizvoda u odnosu na zahteve i shvatanja softverskih razvojnih timova i programera, kao i (3) kvalitet u kontekstu poslovnog okruženja u kome će softver biti korišćen. Parametre kvaliteta softvera delimo na unutrašnje i spoljašnje. Spoljašnji kriterijumi (brzina izvršavanja softvera, jednostavnost korišćenja, interfejs i funkcionalnost softverskih rešenja, ulazno izlani podaci i objekti), predmet su interesovanja krajnjih korisnika. Interesovanje profesionalnih programera polazi od unutrašnjih kriterijuma kvaliteta, kao što su: postupci u implementaciji i distribuciji softverskih proizvoda (višekratna upotreba, proširivost i robusnost razvijenih softverskih celina ili komponenti, koje postaju samostalni i nezavisni softverski alati). Kvalitet po spoljašnjim kriterijumima, zasniva se na kvalitetu po unutrašnjim kriterijumima.

Obezbediti kvalitet softvera, je višedimenzionalni zadatak. Merenje parametara kojima se izražava kvaliteta softvera, neophodno je permanentno pratiti i procenjivati. Posebno je kompleksno precizirati metriku, odnosno način merenja i procenjivanja kvaliteta softverskog sistema. Međunarodni standard u oceni kvaliteta softvera, predstavljen je u vidu nekoliko parcijalnih segmenata ocene kvaliteta [ISO-9126] kojima se definišu:

- ISO/IEC 9126-1 model kvaliteta (engl. quality model)2;
- ISO/IEC 9126-2 eksterne softverske metrike (engl. external metrics)3;
- ISO/IEC 9126-3 interne softverske metrike (engl. internal metrics)4;
- ISO/IEC 9126-4 metrike kvaliteta u upotrebi softvera (engl. quality in use metrics)5

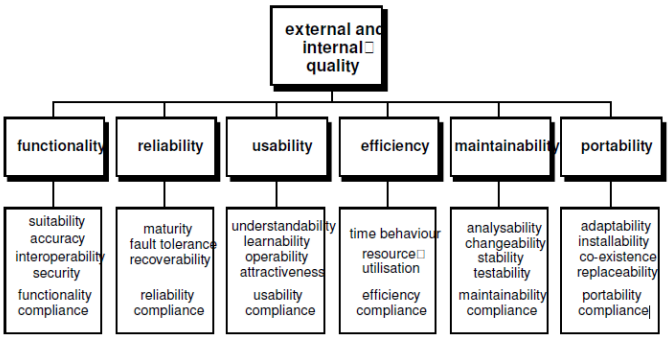
The Standard Reference Model in ISO 9126 (three views of the quality of a software product) is shown below.



[2] http://www.sqa.net/iso9126.html, r[etrived] January 2017.
[3] http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22750, r[etrived] January 2017.
[4] http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22891, r[etrived] January 2017.
[5] http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=39752, r[etrived] January 2017.

Slika 4: Analysis of Quality Models and Measures in ISO 9126 (Alain Abran 2010)

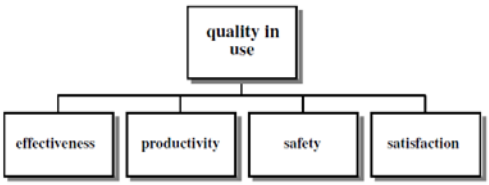
Prikazana slika ukazuje na međusoban uticaj unutrašnjih i spoljašnjih faktora kvaliteta softvera. Interni kvalitet ima uticaj na eksterni kvalitet, što zauzvrat ima uticaj na kvalitet u upotrebi. Znači postići kvalitet softvera u upotrebi (engl. software quality in use), zavisi od spoljašnjeg kvaliteta, koji sam zavisi od unutrašnjeg kvaliteta softverskog rešenja. Model unutrašnjeg i spoljašnjeg kvaliteta predstavljen je na sledećem grafikonu:



Slika 5: Quality Model for Internal and External Quality (Laila Cheikhi, Alain Abran / Witold Suryn 2006)

Na prvom nivou model implicira merenje 6 karakterističnih faktora kvaliteta softvera, dok drugi nivo obuhvata čak 27 podkarakteristika.

Model kvaliteta u upotrebi ima samo jedan nivo sa sledećim parametrima za merenje:



Slika 6: Quality Model for Quality in Use (Laila Cheikhi, Alain Abran / Witold Suryn 2006)

3.1. Merenje kvaliteta softvera

Razvoj softvera u projektnim fazama softverskog inženjeringa zahteva vrlo preciznu i detaljnu specifikaciju projektnih ciljeva. Ciljevi i željeni rezultati se specificiraju još u početnim ranim fazama životnog ciklusa softvera. U tom slučaju se značajno smanjuje rizik od ponovnog rada, kašnjenja i troškova izvan planiranog budžeta softverskog projekta. Pravilnim i jasnim vrednovanjem unutrašnjih i spoljašnjih (ingl. internal and external) faktora kvaliteta softvera pruža priliku programerima da pre isporuke softvera isprave sve nastale greške u softverskom kodu. Time bi se neophodne promene sprovele blagovremeno i smanjio bi se rizik od naknadnih izmena i nadogradnja softverskog projekta, što enormno povećava troškove.

Merenje kvaliteta softvera u upotrebi (engl. quality in use), će obezbediti projektantima i programerima da još u ranim fazama životnog ciklusa razvoja softverskog rešenja, procene sposobnost softverskog proizvoda, koji treba da bude razumljiv i jednostavan za korišćenje, upotrebljiv, svrsishodan i atraktivan u skladu sa savremenim tehničkim i vizuelno-grafičkim standardima. Analiza upotrebljivosti softverskog rešenja se sprovodi u dva koraka: prvo, *analiza upotrebljivih* ***karakteristika***, koncepata i drugo, *analiza predloženih* ***merenja*** *za upotrebljivost*.

Analiza kvaliteta softvera sa stanovišta kvaliteta u upotrebi, podrazumeva specifikaciju ciljeva koje korisnici žele da postignu novim softverskim rešenjem. Ciljevi podrazumevaju da softversko rešenje efektivno odgovori na zahteve korisnika, da se pomoću novog softvera stvore uslovi za produktivniji rad, za sigurnost u izvršavanju funkcionalnih zahteva i povrh svega da se omogući kompletno zadovoljstvo korisnika. Kako pojam upotrebljivost (engl. usability) spada u karakteristike eksternog kvaliteta, tako kvalitet u upotrebi (engl. quality in use) spada u drugi skup kriterijuma koje je potrebno analizirati, a među kojima najpre treba testirati sledeće:

- razumljivost softverskog proizvoda,
- mogućnost da korisnik može da nauči aplikaciju,
- mogućnost korisnika da radi i kontroliše svoj rad u softveru,
- atraktivnost softvera,
- sposobnost da se softver pridržava standarda i

- mogućnost kontrole greške korisnika.

Kvalitet u upotrebi je širi pojam od pojma upotrebljivosti. Stoga se definiše sa više stanovišta kao što su: razumljivost, lakoća učenja, operativnost, atraktivnost i usklađenost.

S obzirom da je kvalitet softvera vrlo apstraktan i nemoguće ga je precizirati, postoje razni pokušaji kojima se definiše metod ili način merenja kvaliteta softvera, koji su više ili manje uspešni. Softverske razvojne kompanije tokom razvoja softvera pridržavaju se ustaljenih standardnih funkcija kojima se obezbeđuje kvalitet softvera posredstvom procesa OKS. U skladu sa ISO standardima kvaliteta softvera, „Working group six“ (WG6)[6] predlaže određeni set atributa za merenje standarda softverskog kvaliteta (engl internal, external and quality in use). WG6 preporučuje skup mernih parametara za spoljne metrike kvaliteta:

Tabela 1: Merni parametri za spoljne metrike kvaliteta (Alain ABRAN, i drugi 2005)

WG6 recommended set of Measurement Primitives (MP)

MP Class Name	MP Name
External Metrics	Time
	Number of Functions
	Number of Faults
	Number of Data
	Number of Operations
	Number of Test Cases

WG6 su takođe predložili i novi koncept mera kvaliteta: merni parametri, primenom funkcija merenja na osnovu karakteristika kvaliteta i podkarakteristika softverskog proizvoda.

Tabela 2: Set mera kvaliteta (Alain ABRAN, i drugi 2005)

WG6 recommended set of Quality Measures

Quality Group Name	Quality Measure Name
Internal Quality Measures	Functional Adequacy
	Precision
	Restartability
	Physical Accessibility
External Quality Measures	Computational Accuracy
	Access Controllability
	Operational Consistency
	Installation Flexibility
Quality in Use Measures	Task Completion
	Productive Proportion
	Discretionary Usage

WG6 predlažu i koncept mera za kvalitet u upotrebi, gde su predstavljene sledeće izvedeni merni atributi:

Tabela 3: Osnovne mere za kvalitet u upotrebi (Alain ABRAN, i drugi 2005)

Examples of base measures in ISO 9126-4

Quality in use Base Measures		
	Measure Name	Unit of Measurement
1	Task Effectiveness	(a given weight)
2	Total Number of Tasks	Task (number of)
3	Task Time	Minute
4	Cost of the Task	Dollar
5	Help Time	Second
6	Error Time	Second
7	Search Time	Second
8	Number of Users	User (number of)
9	Total Number of People Potentially Affected by the System	Person (number of)
10	Total Number of Usage Situations	Situation (number of)

Identifikacija baznih mernih jedinica i njihovom daljom razgradnjom omogućuje se procena softverskog proizvoda kroz niz izvedenih atributa za merenje kvaliteta softvera. Time se stvara i baza znanja (knowledge) koja sadrži niz atributa (karakteristika i podkarakteristika) potrebnih za merenje i procenu softver kvaliteta. Definisana baza kombinuje parametre i stvara uslove za pravilno, detaljno kreiranje faktora koji više ili manje, utiču na kvalitet softverskog rešenja, posmatrajući isti sa stanovišta programera ili sa stanovišta krajnjih korisnika.

[6] WG6 http://www.isotc292online.org/organization/wg6/, retrived March 2017.

4. ZAKLJUČAK I BUDUĆI TOKOVI ISTRAŽIVANJA

Izbor softverske metodologije, odnosno softverskih razvojnih procesa značajno utiču na kvalitet softverskog rešenja. Kvalitet je podjednako važan kako sa stanovišta neposrednih korisnika aplikativnog softverskog rešenja, tako i sa stanovišta programera. Softverska industrija 21. veka zahteva pre svega dostizanje nivoa kvaliteta softvera. Formalno faktori kvaliteta softvera se definišu zavisno od mnogobrojnih parametara, koji se karakteristično razlikuju za svaku fazu životnog ciklusa razvoja softvera. Metodologija softverskog razvoja ima značajan uticaj i ulogu u dostignuti nivo kvalitet softvera. S tim u vezi možemo sa sigurnošću tvrditi da savremene agilne razvojne metodologije mogu i treba da budu podrška tradicionalnim metodologijama. Pristup KBRS je pouzdano i sigurno softversko razvojno područje, i trebalo bi ga nadograditi savremenim agilnim metodama, kako bi softverski artifakti koje ovaj pristup generiše fleksibilno ispunjavali promenljivim zahtevima krajnjih korisnika. Veliki i stabilni softverski sistemi koji se razvijaju tradicionalnim ili komponentnim pristupom, konstanto imaju potrebu za nadogradnjom i promenama, što zahteva fleksibilnost razvojnih softverskih alata i metoda. Agilna razvojna podrška značajno utiče na podizanje nivoa kompetencija softverskog proizvoda, a istovremeno i na nivo kvaliteta softvera. Kvalitet podrazumeva metodologiju, rezultate, proces razvoja i alate kojima se razvojne softverske aktivnosti i zadaci rešavaju. Kvalitet dostignut u razvojnim fazama softverskog projekta utiče na funkcionalni kvalitet kojim se postiže svrsishodan softverski sistem u skladu sa zahtevima korisnika. Prema definisanim mernim parametrima za unutrašnji i spoljašnji kvalitet softvera utiče se na nivo produktivnosti, smanjenje vremenskog ciklusa razvoja softvera, a samim tim i cena softverskog projekta. Obratiti pažnju na kvalitet i parametre kvaliteta softvera moguće je samo ako se razvoj softvera zasniva na dobro definisanom metodološkom procesu. U som slučaju merenje standarda softverskog kvaliteta sa stanovišta spoljašnjih i unutrašnjih parametara (engl internal, external and quality in use), garantuje postizanje zadovoljavajućeg kvaliteta softvera tokom njegovog razvoja, implementacije i održavanja. Kvalitet softvera u krajnjoj instanci implicira profitabilnosti projekata i kompanija koje ovakve softverske projekte koriste.

LITERATURA

[1] Alain Abran. (2010). *Software Metrics & Software Metrology.* doi:10.1002/9780470606834

[2] Alain ABRAN, Rafa E. AL-QUTAISH, Jean-Marc DESHARNAIS, & Naji HABRA. (2005). An Information Model for Software Quality Measurement with ISO Standards.

[3] Dan Turk, Robert France, & Bernhard Rumpe. (2014). Limitations of Agile Software Processes. *Third International Conference on Extreme Programming and Flexible, XP2002*, 43-46. doi:10.1.1.7.1496

[4] Daniel Galin. (2004). *Software Quality Assurance from theoy to Implementation.* Pearson Education Limited.

[5] Ken Cottrell. (2002). *Achieving Enterprise Reuse.* Presentation.

[6] Laila Cheikhi, Alain Abran, & Witold Suryn. (2006). Harmonization of usability measurements in ISO9126 software engineering standards. 3246-3251.

[7] Mark Kevitt, BSc. (2008). *Best Software Test & Quality Assurance Practices in the project Life-cycle.*

[8] Mohamed A. Awad. (2005). *A Comparison between Agile and Traditional Software Development Methodologies.* The University of Western Australia. doi:10.1145/130840.130843; ISBN:978-0321112248; ISSN:1300-1949

[9] Rüdiger Lincke. (2007). *Validation of a Standardand and Metric-Based Software Quality Model.* Licentiate Thesis.

[10] Wayne C. Lim. (1998). *Managing software reuse.* Prentice Hall PTR. doi:ISBN: 0-13-552373-7

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MODEL INTEGRISANJA BIG DATA ANALITIKE SA TRADICIONALNIM SISTEMIMA POSLOVNE INTELIGENCIJE BAZIRAN NA VIRTUELIZACIJI PODATAKA

MODEL OF INTEGRATING BIG DATA ANALYTICS WITH TRADITIONAL BUSINESS INTELLIGENCE SYSTEMS BASED ON DATA VIRTUALIZATION

SLAĐANA JANKOVIĆ[1], SNEŽANA MLADENOVIĆ[2], ANA UZELAC[3], DUŠAN MLADENOVIĆ[4], STEFAN ZDRAVKOVIĆ[5],

[1] Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, s.jankovic@sf.bg.ac.rs
[2] Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, snezanam@sf.bg.ac.rs
[3] Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs
[4] Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, d.mladenovic@sf.bg.ac.rs
[5] Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Organizacije koriste sisteme poslovne inteligencije da bi podržale i unapredile svoje procese donošenja odluka. Big Data analiza je proces ispitivanja velikih i raznovrsnih skupova podataka – Big Data, sa ciljem da se otkriju skriveni obrasci, nepoznate korelacije, trendovi na tržištu, želje kupaca i druge korisne informacije koje mogu pomoći organizacijama da donose bolje poslovne odluke. Budući da je krajnji cilj korišćenja sistema poslovne inteligencije i Big Data analitike isti, nameće se logičan zadatak: omogućiti ovim sistemima da sarađuju. U ovom radu predlažemo model saradnje pomenutih sistema, baziran na virtuelizaciji podataka. Cilj virtuelizacije podataka je da se od aplikacija sakrije većina tehničkih aspekata o tome kako i gde se podaci čuvaju, a da se svi izvori podataka prikažu kao jedan integrisani izvor podataka. Predloženi model testirali smo u studiji slučaja u oblasti saobraćaja. Studija je pokazala da predloženi model integracije fleksibilno i efikasno odgovara na zahteve za dodavanjem novih izvora podataka, novih modela podataka i novih tehnologija skladištenja podataka.*

Ključne reči: *Integracija podataka, Virtuelizacija podataka, Denodo platforma*

Abstract: *Organizations use business intelligence systems to support and improve their decision-making processes. Big Data Analysis is the process of testing large and diverse datasets - Big Data, with the goal of discovering hidden patterns, unknown correlations, market trends, customer preferences and other useful information that can help organizations to make better business decisions. Since the ultimate goal of using the Business Intelligence System and Big Data Analytics is the same, a logical task is to: enable these systems to work together. In this paper we propose a model of cooperation of these systems, based on data virtualization. The goal of data virtualization process is to hide technical details related to data storage from the applications and to display data sources as one integrated data source. We tested the proposed model in a case study in the field of traffic. The study has shown that the proposed integration model responds flexibly and efficiently to the requirements related to adding new data sources, new data models and new data storage technologies.*

Keywords: *Data Integration, Data Virtualization, Denodo Platform*

1. UVOD

Organizacije koriste sisteme poslovne inteligencije (engl. business intelligence, BI) da bi podržale i unapredile procese donošenja odluka. To znači da su glavni korisnici ovih sistema ljudi koji donose odluke. Kako tržišta ponude i potražnje rastu, tako organizacije moraju da reaguju brže, što znači da moraju brže da donose odluke. To potvrđuje studija (Aberdeen Group, 2011) u kojoj se 43 procenta anketiranih organizacija izjasnilo da se vreme za donošenje odluka skraćuje. To znači da je potrebno brže menjati postojeće i kreirati nove izveštaje. Drugu veliku promenu u procesima donošenja odluka donela je dostupnost novih izvora podataka za analizu i izveštavanje. IoT (Internet of Things) era donela je nove mogućnosti naučnicima koji se bave istraživanjem podataka (engl. data scientists) i poslovnim analitičarima, ali i brojne izazove za programere i projektante skladišta podataka (engl. data warehouse). Primena IoT koncepta u prikupljanju

podataka neminovno vodi ka korišćenju Big Data tehnologija u skladištenju, obradi i analizi podataka. Međutim, naprednim metodama Big Data analitike i tehnikama njihove implementacije u odgovarajućim softverskim alatima vladaju samo specijalizovani stručnjaci - data scientists. Tako nastaju dva velika problema: razumevanje poslovnog domena od strane stručnjaka za podatke, s jedne strane, i integrisanje rezultata do kojih dolaze ti stručnjaci sa postojećim ili budućim sistemima poslovne inteligencije, s druge strane. Poslovni analitičari pre svega koriste gotove, interpretirane rezultate do kojih dolaze stručnjaci za podatke. Međutim, oni sve više i sami žele da koriste napredne analitičke metode, što je poznato pod nazivom self-service business intelligence (SSBI).

Elgendy & Elragal (2016) ističu da je između sistema poslovne inteligencije i alata Big Data analitike potrebna dvosmerna razmena podataka. U Big Data analizi podataka za poslovne namene, osim podataka iz eksternih izvora, kao što su senzorski podaci, podaci koje generišu različite mašine, podaci sa društvenih mreža, i dr., koriste se i korporativni podaci. Često korporativni podaci koji se koriste u Big Data analizi, ili se ukrštaju sa rezultatima Big Data analize, i sami nastaju kao rezultat neke predefinisane analize u sistemu poslovne inteligencije. Dakle, potrebno je omogućiti integrisanje korporativnih podataka koji predstavljaju ulazne ili izlazne podatke sistema poslovne inteligencije i podataka koji su predmet Big Data analize. Integrisanje podataka mora se obaviti na konceptualnom, semantičkom, logičkom i fizičkom nivou. Prilikom integracije podataka treba rešiti brojne probleme. Jedan deo korporativnih podataka, koji se arhiviraju i tradicionalno koriste za poslovno izveštavanje, su strukturirani. Međutim, značajan deo korporativnih podataka su polustrukturirani i nestrukturirani podaci. S druge strane, eksterni izvori generišu raznorodne podatke koji se čuvaju u različitim tipovima skladišta za podatke. Količina eksternih podataka koji su od interesa za korporativne analize, po pravilu brzo raste. Rezultate Big Data analize treba učiniti dostupnim poslovnim analitičarima i drugim poslovnim korisnicima, a ponekad i krajnjim korisnicima, kao što su kupci, korisnici usluga, itd. To se može učiniti kroz integraciju podataka ili kroz integraciju na nivou izveštavanja. U oba slučaja mora biti postignuta integracija na konceptualnom i semantičkom nivou, a u prvom slučju i na logičkom i fizičkom nivou.

S obzirom na to da govorimo o analizi ogromnih količina eksternih podataka koji pristižu velikom brzinom, i velikim količinama istorijskih korporativnih podataka koji se povremeno ažuriraju dodavanjem novih, nema smisla razmatrati fizičku integraciju podataka baziranu na njihovom kopiranju u jedno centralno skladište. Umesto toga, u integrisanju podataka u IoT eri, bolje rezultate daje virtuelizacija podataka (engl. data virtualization). Virtuelizacija podataka omogućava fleksibilno integrisanje podataka na zahtev i višestruko korišćenje istih podataka, bez kopiranja. U ovom radu predlaže se model integrisanja Big Data analitike sa tradicionalnim sistemima poslovne inteligencije, baziran na primeni virtuelizacije podataka.

Druga sekcija rada sadrži definiciju koncepta virtuelizacije podataka i njemu srodnih koncepata, kao i pregled savremenih tehnika virtuelizacije podataka. U trećoj sekciji rada predstavljen je model integrisanja Big Data analitike sa tradicionalnim sistemima poslovne inteligencije, baziran na korišćenju virtuelizacije podataka. U četvrtoj sekciji predstavljena je studija slučaja koju su autori realizovali u cilju testiranja predloženog modela. U poslednjoj sekciji rada dati su zaključci o mogućnostima i ograničenjima primene predloženog modela integracije.

2. VIRTUELIZACIJA PODATAKA

U najširem smislu, virtuelizacija je koncept kojim se označavaju tehnike i metode za apstrakciju računarskih resursa. Virtuelizacija računarskih resursa nam s jedne strane pruža mogućnost da na jednom fizičkom serveru imamo više različitih virtuelnih servera, a s druge strane da više različitih fizičkih resursa spojimo u jednu logičku (virtuelnu) celinu.

2.1. Virtuelizacija podataka i srodni koncepti

Virtuelizacija podataka (engl. data virtualization) je usko povezana sa nekoliko srodnih koncepata, kao što su: enkapsulacija (engl. encapsulation), apstrakcija (engl. abstraction), federacija podataka (engl. data federation), integracija podataka (engl. data integration) i integracija informacija preduzeća (engl. enterprise information integration, EII). U ovoj sekciji biće objašnjeni ovi koncepti i njihova veza sa konceptom virtuelizacije podataka.

Enkapsulacija, prema (Blair et al. 1991) sastoji se od razdvajanja eksternih aspekata jednog objekta koji se čine dostupnim drugim objektima, od internih detalja implementacije objekta koji se skrivaju od drugih objekata. Apstrakcija je proces kojim identifikujemo važne aspekte nekog fenomena, a ignorišemo detalje o njemu (Ross et al. 1975). Virtuelizacija podataka je tehnologija koja korisnicima podataka nudi jedinstven,

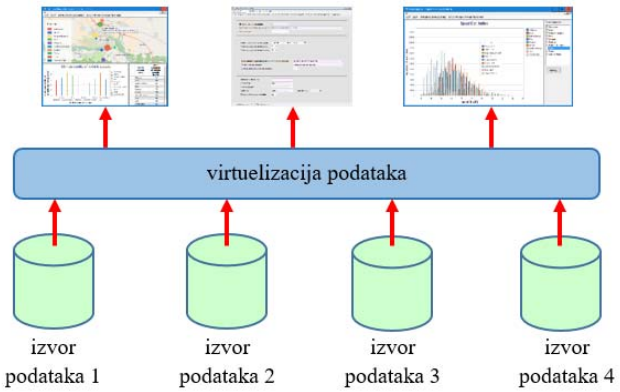
apstrahovan i enkapsuliran pogled za postavljanje upita i manipulisanje podacima skladištenim u heterogenom skupu skladišta za podatke (Lans 2012).

Federacija podataka je jedan aspekt virtuelizacije podataka, gde se podaci skladišteni u heterogenom skupu autonomnih skladišta podataka čine dostupnim korisnicima podataka kao jedno integrisano skladište korišćenjem integracije podataka na zahtev (Lans 2012). Treba zapaziti da virtuelizacija podataka ne podrazumeva uvek federaciju podataka. Na primer, ako podaci u jednom skladištu podataka treba da budu virtuelizovani za korisnika podataka, ne postoji potreba za federacijom podataka. S druge strane, federacija podataka uvek podrazumeva virtuelizaciju podataka, jer ako je skup skladišta podataka predstavljen kao jedno skladište, aspekt distribuiranosti skladišta podataka je skriven od aplikacija.

Prema (SearchCRM, 2017) integracija podataka je proces kombinovanja podataka iz potencijalno heterogenog skupa skladišta podataka, radi kreiranja jedinstvenog pogleda na sve podatke. Integracija podataka uključuje, na primer, povezivanje podataka, transformaciju vrednosti podataka, obogaćivanje podataka i čišćenje vrednosti podataka. Povezivanje podataka odnosi se na proces kojim se podaci iz različitih skladišta podataka okupljaju na jednom mestu. Transformacijom podataka korektne vrednosti podataka transformišu se u druge korektne vrednosti. Čišćenje podataka odnosi se na korigovanje neispravnih vrednosti podataka. U mnogim situacijama gde je primenjena virtuelizacija podataka, takođe je primenjena i integracija podataka. Međutim, virtuelizacija podataka, ne zahteva obavezno i integraciju podataka. Federacija podataka, s druge strane, obavezno uključuje i integraciju podataka, jer federacija podataka podrazumeva dovođenje podataka iz različitih izvora na jedno mesto. Postavlja se pitanje: da li su federacija podataka i integracija podataka sinonimi? Odgovor je: ne.

Integracija informacija preduzeća (IIP) je mogućnost podrške jedinstvenog prikaza podataka i informacija za celu organizaciju. Prema (Wikipedia, 2017) to je proces integracije informacija korišćenjem apstrakcije podataka radi obezbeđenja jedinstvenog interfejsa (poznatog pod nazivom "jedinstveni pristup podacima") za pregled svih podataka unutar jedne organizacije. Jedinstveni interfejs baziran je na jedinstvenom skupu konvencija o strukturama i imenovanju podataka (poznatog kao "jedinstvena reprezentacija informacija") koje se koriste za prezentovanje podataka. Drugim rečima, IIP je potpuni sinonim za virtuelizaciju podataka. IIP se može smatrati starijim terminom za virtuelizaciju podataka.

Virtuelizacija uopšteno podrazumeva da aplikacije mogu da koriste neki resurs bez informacija o tome gde se on nalazi, kakav je tehnički interfejs koji on zahteva, kako je implementiran, koju platformu koristi, i koliko je dostupan. Rešenje koje omogućava virtuelizaciju enkapsulira resurs tako da se tehnički detalji skrivaju i aplikacija može da radi sa jednostavnijim interfejsom. Virtuelizacija podataka je jedan od oblika virtuelizacije. Kao što i sam termin ukazuje, enkapsulirani resurs su podaci. U osnovi, kada se primenjuje virtuelizacija podataka, obezbeđuje se srednji sloj koji skriva od aplikacija većinu tehničkih aspekata o tome kako i gde se podaci čuvaju (slika 1). Osim toga, svi izvori podataka prikazuju se kao jedan integrisani izvor podataka.



Slika 1: Virtuelizacija podataka - koncept

2.2. Implementacija virtuelizacije podataka

Tehnički, više različitih alternativa je dostupno za implementaciju sloja virtuelizacije podataka. Neke od njih su:

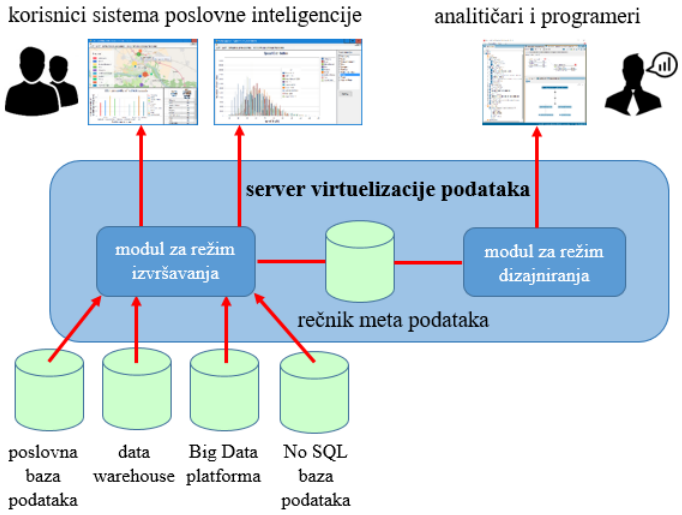
- server za virtuelizaciju podataka, sa kojim će više skladišta za podatke izgledati kao jedno. Aplikacija vidi jedno veliko skladište podataka, dok su podaci zapravo smešteni u više skladišta;
- Enterprise Service Bus (ESB) arhitektura može biti primenjena za razvoj sloja servisa koji omogućava standardizovan pristup podacima. U tom slučaju, ESB je sloj virtuelizacije podataka;

- postavljanje skladišta podataka u oblak je takođe vrsta virtuelizacije podataka. Da bi pristupio skladištu podataka, korisnik podataka radi sa aplikacionim programskim interfejsom (engl. Application Programming Interface, API)) za oblak, i nema predstavu o tome gde se podaci nalaze;
- izgradnja virtuelne baze podataka u memoriji (engl. in-memory database), uz pomoć podataka učitanih iz više fizičkih baza podataka, može se takođe smatrati virtuelizacijom podataka. Struktura skladišta podataka, API i lokacija realnih podataka je nevidljiva za aplikacije koje pristupaju bazi podataka u memoriji. Ovakvo rešenje naziva se analitikom u memoriji (engl. in-memory analytics);
- objektno-relacioni maperi (engl. object-relational mappers, ORM) su alati koji konvertuju strukture podataka skladišta podataka u koncepte koji se koriste u objektno-orijentisanom programiranju;
- organizacije takođe mogu da razviju svoj sopstveni sloj virtuelizacije podataka, koji sakriva gde i kako su podaci skladišteni.

3. MODEL INTEGRISANJA BIG DATA ANALITIKE SA SISTEMIMA POSLOVNOG ODLUČIVANJA BAZIRAN NA PRIMENI SERVERA ZA VIRTUELIZACIJU PODATAKA

Virtuelizacija podataka može se korisno primeniti u mnogim vrstama aplikacija, uključujući sisteme poslovne inteligencije, servisno-orijentisane arhitekture, master data management, Internet aplikacije, itd. U ovoj sekciji rada predložićemo i opisati model primene virtuelizacije podataka za potrebe integrisanja Big Data analitike sa sistemima poslovne inteligencije. Naš pristup u integrisanju Big Data analitike sa postojećim sistemima poslovne inteligencije sastoji se u korišćenju schema on read pristupa u modeliranju na strani Big Data skladišta, i servera za virtuelizaciju podataka, za implementaciju sloja virtuelizacije podataka.

Svaki server za virtuelizaciju podataka ima svoju tehničku arhitekturu, ali na konceptualnom nivou svaki od njih se sastoji od najmanje dva glavna modula: modula za režim izvršavanja i modula za režim dizajniranja. Osim toga, server za virtuelizaciju podataka obavezno sadrži i rečnik za skladištenje specifikacije meta podataka (slika 2).



Slika 2: Server virtuelizacije podataka

Modul za režim dizajniranja koriste analitičari, dizajneri i programeri. On omogućava definisanje koncepata, modela podataka i specifikacija za transformacije, „čišćenje“ i integrisanje podataka. Sve ove specifikacije čuvaju se u rečniku podataka. Modul za režim izvršavanja koriste korisnici podataka kada pristupaju sloju virtuelizacije. Ovaj modul upravlja svim pristiglim zahtevima za podacima. On određuje najbolju strategiju za izvršavanje upita, „zna“ kako da pristupi različitim tehnologijama skladištenja podataka, „zna“ kako da integriše podatke, itd.

Model koji predlažemo može se koristiti u različitim scenarijima integracije, kao što su:

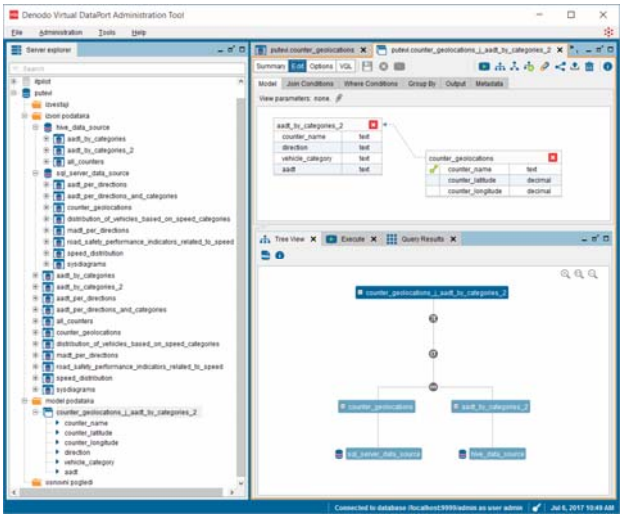
- integracija izvornih korporativnih podataka (iz poslovnih baza podataka, data warehouse sistema, internih baza podataka, itd.) i podataka iz različitih eksternih izvora (Big Data platforme, No-SQL baze podataka, IoT, društvene mreže, Web, itd.) radi dobijanja ulaznih podataka za Big Data analizu,
- integracija rezultata sistema poslovne inteligencije i podataka iz različitih eksternih izvora (Big Data platforme, No-SQL baze podataka, IoT, društvene mreže, Web, itd.) radi dobijanja ulaznih podataka za Big Data analizu,

- integracija izvornih korporativnih podataka (iz proizvodnih baza podataka, data warehouse sistema, internih baza podataka, itd.) i rezultata Big Data analize, radi dobijanja ulaznih podataka za nove vrste izveštavanja u sistemima poslovne inteligencije,
- integracija rezultata sistema poslovne inteligencije i rezultata Big Data analize, radi dobijanja ulaznih podataka za nove vrste izveštavanja u sistemima poslovne inteligencije, itd.

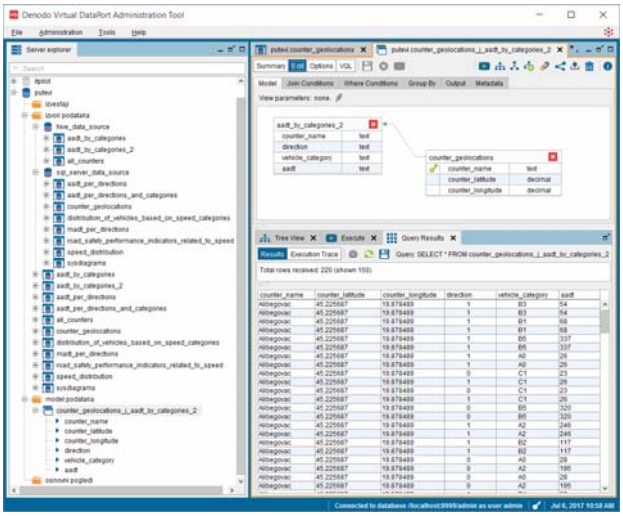
4. STUDIJA SLUČAJA

Za potrebe testiranja predloženog modela realizovana je studija slučaja u oblasti upravljanja podacima u drumskom saobraćaju. Realizacija studije sastojala se od sledećih aktivnosti:

- razvijen je relacioni model podataka i kreirana SQL Server baza podataka STATE ROADS, koja omogućava skladištenje podataka o referentnom sistemu državnih puteva u Republici Srbiji i automatskim brojačima saobraćaja (ABS) koji se koriste na tim putevima. Najvažniji entiteti tog relacionog modela su: putni pravac, deonica puta, ukrštanje, automatski brojač saobraćaja, itd.;
- pomoću automatskih brojača saobraćaja serije QLTC-10C prikupljeni su podaci o saobraćaju u čitavoj 2015. godini, na deset lokacija u gradu Novom Sadu i njegovoj okolini. Za svako vozilo koje registruje ABS beleži u tekstualnoj datoteci: redni broj vozila za taj dan i taj smer kretanja, datum i vreme nailaska vozila, kanal – redosled nailaska vozila na induktivne petlje, saobraćajnu traku kojom se vozilo kretalo, kategoriju vozila u skladu sa direktivom EEC 1108/70 (motocikl, automobil, kombi vozilo, lako teretno vozilo, kamion, teško teretno vozilo, kamion sa prikolicom, tegljač s poluprikolicom, autobus, zglobni gradski autobus, nekategorisano vozilo), brzinu i dužinu vozila (Janković, Zdravković, et al. 2016);
- za skladištenje i obradu podataka prikupljenih uz pomoć ABS izabrana je open-source Big Data platforma Apache™ Hadoop® . Uz pomoć Apache Ambari korisničkog interfejsa podaci o saobraćaju koji se skladište u .txt datotekama upload-ovani su na Hadoop Distributed File System (HDFS);
- uz pomoć Apache Hive™ data warehouse softvera i upitnog jezika HiveQL, na Hadoop platformi kreirana je baza podataka TRAFFIC COUNTING, i u nju su uz pomoć odgovarajućih HiveQL upita "presuti" podaci iz .txt fajlova sa HDFS-a;
- izvršavanjem odgovarajućih HiveQL upita nad Hadoop bazom podataka TRAFFIC COUNTING izračunati su brojni pokazatelji obima, strukture i brzine saobraćajnog toka. Osnovni pokazatelj obima saobraćaja, koji je izračunat, je prosečan godišnji dnevni saobraćaj – PGDS (engl. Annual Average Daily Traffic, AADT), ukupno, i po kategorijama vozila (Janković, Mladenović, et al. 2016). PGDS zajedno sa svojim osobinama strukture i neravnomernosti (minutna, časovna, dnevna, mesečna, godišnja) je osnovni ulazni podatak u saobraćajno-tehničkom dimenzionisanju putne infrastructure i putnih objekata;
- na Denodo Express 6.0 platformi izvršena je virtuelizacija i integracija podataka iz SQL Server baze podataka STATE ROADS i Hadoop baze podataka TRAFFIC COUNTING. Na taj način su podaci o obimu, strukturi i brzini saobraćajnog toka, koji su generisani na Big Data platformi, povezani sa lokalno skladištenim podacima o državnim putevima u Republici Srbiji. Na slici 3 prikazan je Tree View i Relationships View šeme podataka nastale kombinovanjem (spajanjem) polja iz lokalnog i Big Data izvora podataka. Treba primetiti da je lokalni izvor podataka relaciona tabela, a Big Data izvor podataka nerelaciona tabela, koja nema čak ni primarni ključ! Na slici 4 prikazani su rezultati upita kojim se vrši spajanje polja iz pomenutih raznorodnih izvora podataka;



Slika 3: Virtuelizacija podataka - Tree View



Slika 4: Virtuelizacija podataka - Results View

- u razvojnom okruženju Microsoft Visual Studio 2015 razvijena je Windows aplikacija ROADS OF SERBIA koja preko sloja virtuelizacije podataka izgrađenog na Denodo Express 6.0 platformi pristupa heterogenim izvorima podataka: SQL Server bazi podataka STATE ROADS i Hadoop bazi podataka TRAFFIC COUNTING. Ova aplikacija ima ulogu sistema poslovne inteligencije koji u izveštavanju integriše podatke iz lokalnog skladišta podataka i rezultate Big Data analize.

5. ZAKLJUČAK

Realizovana studija slučaja potvrdila je da korišćenje sloja virtuelizacije podataka nudi brojne prednosti. Njih možemo klasifikovati u tri grupe. Prva grupa prednosti ostvaruje se ako korisnik pristupa samo jednom izvoru podataka, i sastoji se u sledećem: sloj virtuelizacije podataka poseduje sposobnost prevođenja jezika i API-ja podržanog od strane skladišta za podatke na jezik i API pogodne za korisnika podataka, nezavisnost od tehnologije izvora podataka (u eri IoT-ja i Big Data, veoma važna je mogućnost zamene non-SQL skladišta podataka SQL skladištem), minimalan negativan uticaj korisnika na performanse skladišta podataka.

Drugi skup prednosti povezan je sa specifikacijom meta podataka, kao što su: strukture tabela, operacije transformacije i čišćenja, agregacija, i sl. Kada se koristi virtuelizacija podataka specifikacija meta podataka implementira se samo jednom i nije neophodno kopirati je za više korisnika podataka. Drugim rečima, korisnici podataka dele i višestruko koriste specifikacije meta podataka, čime se postižu jednostavnije strukture tabela, centralizovana transformacija podataka, centralizovano čišćenje podataka, pojednostavljen razvoj aplikacija, mnogo konzistentnije ponašanje aplikacija i mnogo konzistentniji rezultati.

Treća grupa prednosti odnosi se na integrisanje podataka iz više izvora podataka, a sastoji se u sledećem: unificiran pristup različitim vrstama skladišta podataka (SQL Server baze podataka, Excel radni listovi, indeks sekvencijalne datoteke, NoSQL baze podataka, XML dokumenta, HTML web stranice, itd.), centralizovana integracija podataka i deljenje integracionog programskog koda, konzistentni rezultati izveštavanja, efikasan distribuiran pristup podacima.

S obzirom na pozitivna iskustva u korišćenju Denodo Express 6.0 platforme, buduća istraživanja autora biće usmerena na korišćenje pomenute platforme za virtuelizaciju podataka u integraciji Big Data analitike sa No SQL bazama podataka, kao što su column i key-value baze.

ZAHVALNICA

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta pod brojem 036012. Podatke koje generišu automatski brojači saobraćaja obezbedila je firma MHM - projekat d.o.o. iz Novog Sada.

LITERATURA

[1] Blair, G, et al. (1991). Object-oriented languages, systems and applications. New York: Halsted Press.

[2] Elgendy, N. & Elragal, A. (2016). Big Data Analytics in Support of the Decision Making Process. Procedia Computer Science, 100, 1071-1084.

[3] Janković, S., Mladenović, S., Mladenović, D., Uzelac, A., & Zdravković, S. (2016). Korišćenje Apache Hadoop big data platforme u analizi senzorskih podataka u saobraćaju. Zbornik radova XLIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS ’16, Tara, Srbija, 243-246.

[4] Janković, S., Zdravković, S., Mladenović, S., Mladenović, D., & Uzelac, A. (2016). The Use of Big Data Technology in the Analysis of Speed on Roads in the Republic of Serbia. Proceedings of the Third International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE Belgrade 2016), Belgrade, Serbia, 219-226.

[5] Lans, R.F. van der. (2012). Data Virtualization for Business Intelligence Systems. Waltham: Elsevier.

[6] Loshin, D. (2013). Big Data Analytics. Waltham, MA: Elsevier.

[7] Ross, D.T., Goodenough, J.B., & Irvine, C.A. (1975). Software engineering: process, principles, and goals. IEEE Computer, 8(5), 17-27.

[8] Russom, P. (2013). Integrating Hadoop into Business Intelligence and Data Warehousing. Renton, WA: The Data Warehousing Institute.

[9] SearchCRM. http://searchcrm.techtarget.com/. [online available on 6/23/2017]

[10] Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Enterprise_information_integration. [online available on 6/23/2017]

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

BEZBEDNOST I ZAŠTITA PODATAKA U INTEGRISANOM ZDRAVSTVENOM INFORMACIONOM SISTEMU

DATA SAFETY AND PROTECTION OF DATA IN INTEGRATED HEALTH INFORMATION SYSTEM

MARINA JOVANOVIĆ MILENKOVIĆ[1], SVETLANA JOVANOVIĆ[2], MIRJANA DRAKULIĆ[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, jovanovic.marina@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, jovanovic.svetlana@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, drakulic.mirjana@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je akcenat stavljen na podatake u integrisanom zdravstvenom informacionom sistemu. Ovaj informacioni sistem obezbeđuje niz elektronskih zdravstvenih usluga koje čine jedan od stubova strategije evropskog digitalnog jedinstvenog tržišta i usluga od poverenja (uprava, poslovanje, obrazovanje, zdravstvo). eZdravstvo mora da obezbedi pametnije, bezbednije i prema pacijentu orijentisane zdravstvene usluge. Jedno od ključnih pitanja ovih usluga je obezbeđenje medicinske privatnosti pacijenata kroz poštovanje poverljivosti njihovih podataka. To znači da svaki pacijent mora biti siguran da njegovi osetljivi medicinski podaci neće biti korišćeni u njemu nepoznate svrhe i/ili od strane neovlašćenih lica. Drugo ključno pitanje je bezbednost koja se postiže politikom, procedurama i tehnologijama koje sprečavaju otkrivanje poverljivih ili osetljivih podataka i umanjujem štetnih efekata takvog otkrivanja. Treće pitanje je zaštita koja predstavlja skup pravnih, organizacionih i tehničkih mera kojima se osigurava informacioni (integrisani) sistem i podaci.*
Ključne reči: *integrisani zdravstveni informacioni sistem, pravo na informacionu, medicinsku i genetsku privatnost, bezbednost, zaštita podataka.*

Abstract: *The paper emphasizes the protection of data in integrated health information system. This information system provides a range of electronic health services that form one of the pillars of the European Digital Single Market and Trusted Services strategy (management, business, education, health). E-health must provide smarter, safer and patient-oriented health services. One of the key issues of these services is to ensure the patient's medical privacy by respecting the confidentiality of their data. This means that every patient must be sure that his sensitive medical data will not be used in him for unknown purposes and/or by unauthorized persons. Another key issue is the security achieved by policies, procedures, and technologies that prevent disclosure of confidential or sensitive data and the detrimental effects of such disclosure. The third issue is protection which is a set of legal, organizational and technical measures that provide information (integrated) system and data.*

Keywords: *Integrated health information system, right to information, medical and genetic privacy, security, data protection.*

1. UVOD

Razvoj tehnologije, pogotovo informaciono-komunikacione, doprinosi razvoju i usavršavanju medicine i zdravstva. Početak primene ovih tehnologija vezuje se za podršku administrativnim poslovima i poslovima statističkog izveštavanja (analiza stanja zdravstvene zaštite, poslovni procesi zdravstvenih ustanova i istraživački procesi od interesa za zdravstveni sistem i zdravlje uopšte), dok je primena za podršku osnovnoj zdravstvenoj delatnosti bila u znatnom kašnjenju i prolazila je kroz različite faze. Danas primena informaciono-komunikacionih tehnologija u zdravstvu dovodi do pojave elektronskih zdravstvenih sistema, elektronskog zdravstvenog kartona, telemedicine (Jovanovic Milenkovic, Brajovic, Milenkovic, Vukmirovic, Jeremic, 2016), m-Zdravstvo, bar kod tehnologije, kliničkih sistema za podršku odlučivanju, sistema za arhiviranje slika i komunikacija (Burney, Mahmood, Abbas, 2010). Težište se pomera od sistema na podatke (Cryts, 2017) i to velike. Podaci o pacijentima se unose, obrađuju, dostavljaju i koriste zahvaljujući informacionom sistemu i računarskim mrežama, čime se olakšava rad i komunikacija lekara/zdravstvenog

osoblja sa pacijentom, lekara/zdravstvenog osoblja međusobno i zdravstvenih ustanova sa drugim ustanovama, nacionalnim (Poverenik za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti, 2017.) i međunarodnim (European Commisssion, 2017).

Zdravstvene ustanove prikupljaju podatke o pacijentima kao što su: ime, godine, matični broj, adresa, školska i stručna sprema, bračni status, radni status, adresa poslodavca, opis bolesti, dijabetički profil, medicinski izveštaji, porodična anamneza, genetski podaci, snimci i drugi rezultati pregleda i analiza, kao i brojni drugi podaci, npr. podaci o sumnjama o zlostavljanju i zanemarivanju dece (Zakon o zdravstvenoj dokumentaciji i evidencijama u oblasti zdravstva, 2014.). U pitanju je veliki broj raznovrsnih podataka koji se koriste prevsahodno radi unapređenja zdravstvenog stanja pacijenata, ali i sistema zdravstvene zaštite. Međutim, problem se javlja kada se ti podaci koriste u različite svrhe i time se ugrožava pravo pacijenta na informacionu, medicinsku ili genetsku privatnost. Kako su prava pacijenata, pa i na privatnost, u centru pažnje savremenih zdravstvenih sistema to je neophodno predupreditи negativne posledice koje mogu nastati usled neadekvatne zaštite podataka (Directive, 2011).

2. IZVORI I VRSTE ZDRAVSTVENIH PODATAKA

Podaci o pacijentima proističu iz dva osnovna izvora (Zakon, 2014): (1) medicinske dokumentacije i evidencija o pružanju zdravstvenih usluga i zdravstvenom stanju pacijenata i stanovništva, i (2) zdravstvene dokumentacije i evidencija za praćenje faktora rizika iz životne sredine. Njima se dodaju i podaci iz zdravstvene dokumentacije i evidencija, ali ne o pacijentima, već o: kadrovima, opremi, prostoru, lekovima i medicinskim sredstvima i informaciono-komunikacionim tehnologijama. Za svaki od ovih izvora, na osnovu posebnog zakona (Zakon, 2014), definisan je osnov i sadržaj. Tako je propisano 11 osnovnih medicinskih dokumentacija od zdravstvenog i stomatološkog kartona, protokola, istorije bolničkog lečenja i zbrinjavanja, do matičnih knjiga ili lista anastezije i novorođenča. Pored osnovne medicinske dokumentacije predviđene su i pomoćne evedencije (registri i razne evidencije).

Kao osnovni podaci o pacijentu koji se nalaze u medicinskoj dokumentaciji predviđeno je 11 vrsta tih podataka: podaci o ličnosti (prezime, ime, prezime i ime jednog roditelja-staratelja, pol, dan, mesec, godina i mesto rođenja, bračno stanje, mesto prebivališta i boravišta, JMBG (jedinstveni matični broj građana); podaci o osiguranju; LBO (lični broj osiguranika); podaci o izabranim lekarima; medicinski podaci; lična medicinska istorija; porodična medicinska istorija; podaci o invalidnosti i nesposobnosti; podaci o faktorima rizika; socijalni podaci o pacijentu (zanimanje, školska sprema); i kontaktni podaci (telefon, mobilni, imejl adresa).

Podaci o zdravstvenom stanju i uslugama, ima ih 14, mogu biti: podaci o poseti i razlozima; lična anamneza i objektivni nalaz; dijagnoze; zdravstvene usluge pružene u toku posete; planirane zdravstvene usluge; upućivanje na specijalističke preglede ili bolničko lečenje; izdati medicinski dokumenti i medicinsko-tehnička pomagalima, pa do podataka o lekovima, ugradnim medicinskim materijalima. Pored njih u ovu grupu podataka spadaju i značajne medicinske informacije i pristanak/ci pacijenta.

Svim ovim, ali i brojnim drugim podacima o pacijentima koji se nalaze u dokumentaciji i evidencijama, moraju se dodati i podaci koji su u pojedinačnim/individualnim izveštajima, prijavama, prijavama promena i odjavama, kao i zbirnim izveštajima. Pored njih pojavljuju se i razni registri i obrasci.

Bez obzira koji izvor ili koje su vrste podataka u pitanju su posebno osetljivi podaci (Zakon, 2012; Poverenik za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti, 2017) koji uživaju poseban pravni status i režim i koji se moraju posebno štititi.

3. INTEGRISANI ZDRAVSTVENI INFORMACIONI SISTEM

U Republici Srbiji se duži niz godina (bar 17) uvodi integrisani/jedinstveni zdravstveni informacioni sistem (IZIS), koji služi za pomoć pojedincima/pacijentima i zdravstvenim radnicima, zbog sigurnije, kvalitetnije, racionalnije i bolje integrisane zdravstvene zaštite i postizanje strateških ciljeva zdravstvenog sistema:

- razvoj i unapređenje upravljanja u svim elementima sistema, putem donošenja odluka zasnovanih na dokazima od strane zdravstvenih radnika, korisnika, posrednika i političara;
- stvaranje uslova za održivo finansiranje sistema zdravstvene zaštite;
- merenje ključnih dimenzija sistema zdravstvene zaštite, kao što su dostupnost, jednakost, kvalitet, efikasnost i održivost.

Osnovni principi IZIS-a su (Jovanović Milenković, 2011):

- očuvanje privatnosti i poverljivosti zdravstvenih podataka,
- efikasnost i upotrebljivost zdravstvenog informacionog sistema,
- promocija optimalne upotrebe zdravstvenih podataka, i

– visok kvalitet zdravstvenih informacija.

Uvođenjem informacionog sistema povećavaju se efikasnost, produktivnost i kvalitet rada u zdravstvenoj ustanovi, evaluira njen rad, eliminiše dupliranje i omogućava sveobuhvatnije korišćenje podataka. Najvažnije prednosti koji proističu korišćenjem ovog rešenja su (Chaudhry B., Wang J., Wu S., Maglione M., Mojic W., Roth, E., Morton S., Shekelle P., 2006):

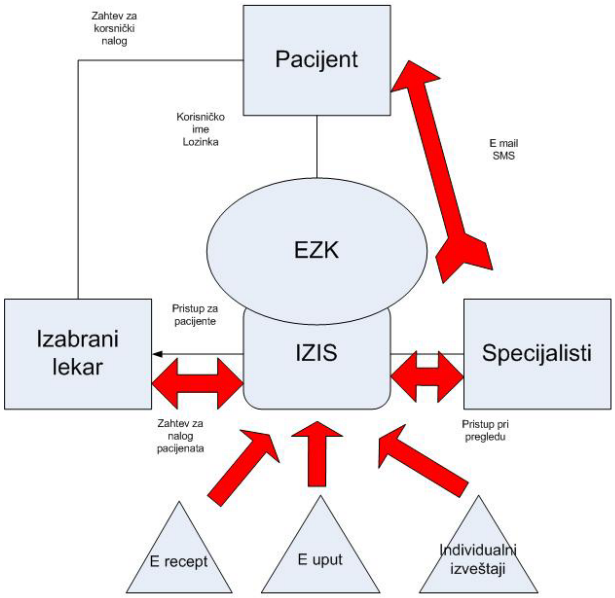
- poboljšanje kvaliteta zdravstveni/medicinskih usluga, preko mogućnosti lakog i brzog pribavljanja mišljenja od strane drugih medicinskih stručnjaka, tako da pacijent praktično dobija uslugu od strane virtuelnog konzilijuma lekara. Time se dijagnostički i terapijski kvalitet povećava, maksimalno automatizuju radni postupci i smanjuje mogućnost greške, poboljšana je rana dijagnostika i otkrivanje negativnih efekata primenjene terapije i drugo (Jovanovic Milenkovic M., Jeremic V., Martic V., 2014);
- povećanje prihoda - preko povećanja produktivnosti medicinskog osoblja (sestara, odseka za hitne slučajeve, radiologije i dr.) i većim prilivom pacijenata;
- smanjenje troškova, putem smanjenja količine potrošnog materijala, kao i korišćenja iste opreme od strane velikog broja stručnjaka.

Njima treba dodati i:

- bolje i brže usluge pacijentima (zakazivanje pregleda i prijem, registracija pacijenata, prijem i otpust);
- dostupnije usluge lekara u specijalističkim ambulantama, dnevnim bolnicama i stacionarima;
- usluge sestara i tehničara;
- formiranje i korišćenje elektronskih kartona pacijenata;
- boljoj dijagnostici, boljim uslugama laboratorija i apoteka;
- jednostavnijoj i bržoj statističkoj obradi prikupljenih podataka;
- većoj podršci upravljanju.

Preko IZIS-a se omogućava unos, prikupljanje, skladištenje i razmena podataka vezanih za zdravstvo u Republici Srbiji. Sistem je integrisan sa postojećim sistemima koji se koriste u Ministarstvu zdravlja ili u zdravstvenim ustanovama u državnoj svojini. On obezbeđuje vezu sa drugim informacionim sistemima, npr. Republičkim zavodom za zdravstveno osiguranje (generisanje elektronske fakture i vezu sa bazom osiguranika), Centralnim informacionim servisom (resursne baze zaposlenih u zdravstvu i medicinske opreme) i bazom elektronske zdravstvene dokumentacije. Ovaj sistem će vremenom postati i spona sa sistemom *EUREGHA* (*E*uropean *R*egional and *L*ocal *H*ealth *A*uthorities) obezbeđujući sledeće vrednosti: raznolikost, participativnost, transparentnost, saradnju, solidarnost (EUREGHA, 2017).

IZIS je sistem koji se sastoji od nekoliko podsistema (npr. za: elektronski zdravstveni karton; medicinski dnevnik (protokol); upravljanje referentnim podacima; e-uput; e-recept; registraciju lica obolelih od bolesti većeg javno-zdravstvenog značaja; aktivnosti izabranih lekara; integraciju sa ostalim sistemima; servisa integracije sa institucijama iz oblasti zdravstva, izveštaje i poslovnu inteligenciju, masovonog izveštavanja pacijenata i zdravstvenih radnika; javni portal (Ministarstvo zdravlja Republike Srbije, 2016) (slika 1).



Slika 1: Infrastruktura integrisanog zdravstvenog informacionog sistema

Prilikom prikupljanja, obrade i korišćenja podataka u okviru IZIS-a mora se voditi o sledećim načelima (slika 2):

a) obaveznosti; b) srazmernosti i svrsishodnosti; c) zaštite podataka o ličnosti; d) kvaliteta podataka e) racionalnog korišćenja raspoloživih resursa	a) transparentnost b) zakonitosti i pravičnosti c) ograničenosti svrhe d) srazmernosti e) tačnosti podataka f) bezbednosti podataka g) nediskriminacije h) teritorijalnosti

Slika 2: Načela obrade zdravstvenih/medicinskih podatka

4. BEZBEDNOST I ZAŠTITA PODATAKA U INTEGRISANOM ZDRAVSTVENOM INFORMACIONOM SISTEMU

Uslovi koji moraju da se zadovolje u integrisanom zdravstvenom informacionom sistemu se odnose na obezbeđenje informacione, medicinske i genetske privatnosti, zaštite i bezbednosti zdravstvenih/medicinskih podataka. Informaciona privatnost je pravo svakog pojedinca, pa i pacijenta da kontroliše koji, kome i kako podaci o njemu mogu postati dostupni drugima (Drakulić, 2006). Zasnovano je na tome da svaki pojedinac ima kontrolu nad podacima o ličnosti vezanih za njega. Osiguranje ovih privatnosti se može realizovati kroz:

- obezbeđivanje poverljivih zdravstvenih/medicinskih podataka pojedinaca;
- sprečavanje zloupotreba; i
- sprečavanje neautorizovanog kopiranja, upodobljavanja, menjanja, obezbeđivanja, stavljanja na uvid, otkrivanja, objavljivanja, širenja, snimanja, organizovanja, čuvanje, prilagođavanja podataka koji su uskladišteni ili obrađeni u zdravstvenom informacionom sistemu (Poverenik za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti, 2017a).

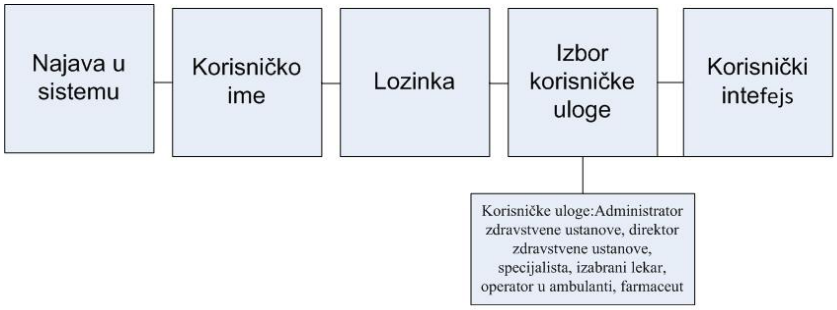
One su, s druge strane, profesionalna obaveza zdravstvenog osoblja, lekara, sestara, ali i nezdravstvenog osoblja, nemedicinskih istraživača, potom onih osoba koje su zaposlene u fondovima zdravstvenog osiguranja, i itd. da poštuju ova prava pacijenata bez obzira kada su i u kojim situacijama došli do ovih podataka. Znači, oni moraju obezbeđivati sigurnost, zaštitu i poverljivost podataka o ličnosti. Poverljivost pretpostavlja zaštitu podatka koji je dao pacijent, od deljenja sa drugim licima unutar ili izvan zdravstvene zaštite, koji nisu direktno uključeni u negu pacijenta (Rajeev K., Kelleher K., Stahlberg E., 2007). Ona ograničava ko može da ih vidi i koristi. Kao rezultat toga, pacijenti mogu biti sigurni da osetljivi podaci neće biti korišćeni, u njima, nepoznate svrhe (Jovanović Milenković M., 2011; Mladenović D., Jovanović D, Drakulić M., 2012).

Bezbednost se postiže politikom, procedurama i tehnologijama koje sprečavaju otkrivanje poverljivih ili osetljivih podataka i njihove štetne efekte. Rezultat je primene mera radi zaštite podataka od neželjenih događaja, odnosno onih koji mogu doprineti izmeni, brisanju ili gubitku podataka pacijenta (Jovanović Milenković M., 2011; Jovanović S., Drakulić M., Drakulić R., 2008.). Sigurnost se odnosi, s jedne strane, na zaštitu integriteta podataka i, s druge, na obezbeđenje privatnosti pacijenta i lekara. Integritet zdravstvenih/medicinskih podataka je vezan za raspoloživost kompletnih, validnih i pouzdanih podataka.
To se postiže primenom odgovarajućih mera na osnovu definisanog i razvijenog pravnog okvira.

Mere sigurnosti i ograničenja

U integrisani zdravstveni informacioni sistem implementirana je jednosmerna kriptografska funkcija. Za veću bezbednost, lozinka predstavlja kombinaciju od najmanje 8 alfanumeričkih karaktera, minimum jednog velikog slova i specijalnog znak. U sistemu je omogućeno postavljanje vremenskog ograničenja trajanja lozinke. Sve lozinke svakoga korisnika se pamte i nije dozvoljeno korišćenje iste lozinke više puta. Svaki korisnik automatski se odjavljuje, nakon određenog broja minuta neaktivnosti (Ministarstvo zdravlja Republike Srbije, 2016). Takođe, svaki korisnik ima određenu ulogu. Na osnovu uloge, korisnik pristupa tačno određenim podacima i ima dozvolu da obavi određenu radnju u odnosu na radne zadatke koje obavlja. Sa ulogom, korisnik se prijavljuje u sistem i ima pristup samo funkcionalnostima koje su mu dodeljene. Uloge koje se javljaju u sistemu su: administrator zdravstvene ustanove, direktor zdravstvene ustanove, specijalista, operator u ambulanti, farmaceut, glavna medicinska sestra, sestra za prijemnim pultom, sestra u intervencijama, i sl. Slična situacija je i kod lekara, gde postoji razlika između dežurnog, odabranog ili nekog drugog lekara. Odabrani lekar ima prava da pristupi svim podacima svog pacijenta za razliku od "običnog" lekara.

Da bi korisnik koristio sistem potrebno je da mu pristupi. Pristup sistemu je grafički predstavljen na slici 3.



Slika 3: Pristup sistemu

Pravni okvir

Odnos između lekara i pacijenta, nivo poverljivosti podataka, uspostavljanje i vođenje medicinske i zdravstvene dokumentacije, kao i evidencija u oblasti zdravstva su zakonski definisani, pa se prilikom projektovanja i realizovanja integrisanog informacionog sistema polazi od pravnih određenja i definisanih pravila. Kreiranje pravnih okvira je dug, kompleksan i komplikovan proces, koji se odvija u saglasnosti sa nacionalnim i međunarodnim strategijama razvoja informatičkog društva. Pri tome je neophodna međusobna usklađenost i povezanost svih segmenata jer ukoliko nema harmonije nastaju velike pravne praznine i nesigurnosti. Upravo se to desilo sa osetljivim zdravstvenim/medicinskim podacima i njihovom obradom u intgrisanom zdravstvenom informacionom sistemu. Tolike neusklađenosti i negativnosti dovale su do intervencije poverenika za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti koji je utvrdio i izneo ozbiljnu primedbu na laički pristup u projektovanju i funkcionisanju ovog informacionog sistema. Ukazao je na propuste i arogantnost rešenja po kome ovom sistemu može pristupiti veliki broj subjekata (69.359 fizičkih lica, sa različitim ulogama i nivoima pristupa*),* a da nije obezbeđena odgovarajuća bezbednost (usled čega je lako moguća kompromitacija podataka o zdravstvenom/medicinskom stanju pokedinaca). Radi njihovog otklanjanja naređeno je preduzmanje organizacionih, tehničkih i kadrovskih mera zaštite podataka o ličnosti koji se obrađuju u okviru IZIS-a, a pogotovo i zaštite od zloupotreba, uništenja, gubitka, neovlašćenih promena ili pristupa (Poverenik za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti, 2017).

5. ZAKLJUČAK

U oblasti bezbednosti zdravstvenih/medicinskih podataka, integrisanog zdravstvenog sistema, računarskih mreža još uvek vlada nedostatak opšte prihvaćenog referentnog sistema vrednosti, čak i u pogledu osnovnih pojmova i koncepata na nacionalnim nivou u Srbiji. Međunarodni dokumenti, kao što je Strategija sajber sigurnosti Evropske unije: otvoreni, zaštićen i bezbedan sajber proctor (European Commission, 2013) i brojne nacionalne strategije daju osnove za definisanje naše nacionalne strategije, a posebno u zdravstvenoj oblasti. Bezbednost i zaštita podataka u ovim sistemima je veoma važan aspekt koji treba posebno planirati i implementirati. Brojne zdravstvene ustanove, ali i druge organizacije, prikupljaju primarne, sekundarne i naučno-istraživačke zdravstvene/medicinske podatke. Povezanost u integrisani zdravstveni informacioni

sistem i uključenje u eZdravstvenu mrežu Evrope imaju potencijal koji može biti iskorišćen za pomoć pacijentima i zdravstvenim radnicima, zbog sigurnije, kvalitetnije, racionalnije i bolje zdravstvene zaštite. Osnovni principi IZIS-a su: očuvanje informacione, medicinske i genetske privatnosti, sigurnost i poverljivost zdravstvenih/medicinskih podataka, efikasnost i korisnost ovog informacionog sistema, promociju optimalne upotrebe posebno osetljivih podataka i njihov visok kvalitet. U uslovima ograničenih sredstava, što je svakako slučaj u našem zdravstvu, pravilno planiranje bezbednosne politike informacionog sistema pre nabavke opreme i aplikativnih rešenja je od suštinskog značaja ne samo sa aspekta racionalizacije troškova, već i sa aspekta smanjenja rizika od zloupotreba i šteta. Izgradnja pravnog okvira je dug, kompleksan i komplikovan proces koji se odvija u saglasnosti sa razvojem informacionog i društva zasnovanog na znanju. Zdravstveni/medicinski podaci u integrisanom zdravstvenom informacionom sistemu nisu adekvatno zaštićeni i neophodno je preduzeti odgavarajuće mere njihove zaštite, što je proces koji tek počinje.

LITERATURA

[1] Burney A., Mahmood N., Abbas Z., (2010), Information and Communication Technology in Healthcare Management Systems: Prospects for Developing, http://www.ijcaonline.org/volume4/number2/pxc3871138.pdf

[2] Chaudhry B., Wang J., Wu S., Maglione M., Mojic W., Roth, E., Morton S., Shekelle P., (2006), Systematic Review: Impact of Health Information Technology on Quality, Efficiency, and Costs of Medical Care, http://annals.org/aim/article/723406/systematic-review-impact-health-information-technology-quality-efficiency-costs-medical

[3] Cryts A., (2017), Four tech trends in healthcare in 2017, http://managedhealthcareexecutive.modernmedicine.com/managed-healthcare-executive/news/four-tech-trends-healthcare-2017?page=0,0

[4] Drakulić M., (2006), Pravni i etički aspekti moderne medicine – prava pacijenata, NISPAcee, Fakultet organizacionih nauka, Beograd

[5] European Parliament and Council, (2011), Directive of 9 March 2011 on the application of patients' rights in cross-border healthcare, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0045:0065:en:pdf

[6] EUREGHA, (2017), Mission and Velues, http://www.euregha.net/component/content/article/2-uncategorised/87-euregha

[7] European Commission, (2017), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, On the Mid-Term Review on the implementation of the Digital Single Market Strategy, A Connected Digital Single Market for All, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52017DC0228&from=EN

[8] European Commission, (2013), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Cybersecurity Strategy of the European Union: An Open, Safe and Secure Cyberspace, http://www.eeas.europa.eu/archives/docs/policies/eu-cyber-security/cybsec_comm_en.pdf

[9] Jovanovic Milenkovic M., Brajovic B., Milenkovic D., Vukmirovic D., Jeremic V., (2016), Beyond the equal-weight framework of the Networked Readiness Index: A multilevel I-distance methodology, Information Development, vol. 32 br. 4, str. 1120-1136 doi:10.1177/0266666915593136

[10] Jovanovic Milenkovic M., Jeremic V., Martic M., (2014), Sustainable Development in the e-Health Sector of the European Union, Journal of environmental protection and ecology, vol. 15 no. 1, pp. 248-256, ISSN: 1311-5065

[11] Jovanović Milenković M., (2011), Elektronski zdravstveni sistem i metode unapređenja zdravstvenog stanja stanovništva u Republici Srbiji, doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Beograd

[12] Jovanović S., Drakulić M., Drakulić R., (2008), Privatno -Javno?, Sumrak privatnosti u eri društvenih mreža, 56. Naučno-stručni skup psihologa Srbije – Sabor psihologa, Kopaonik

[13] Ministarstvo zdravlja Republike Srbije, (2016), Integrisani zdravstveni informacioni sistem (IZIS) Republike Srbije, Konzorcijum: Telekom Srbija –Dinamički informacioni sistemi

[14] Mladenovic D., Jovanovic D., Drakulic M., (2012), Defining cyber warfare, Vojnotehnički glasnik, Vol LX, No 2, DOI: 10.5937/vojtehg1202084M

[15] Poverenik za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti (2017), Izveštaj o sprovođenju Zakona o slobodnom pristupu informacijama od javnog značaja i Zakona o zaštiti podataka o ličnosti, za 2016. godinu, Beograd

[16] Poverenik za informacije od javnog značaja i zaštitu podataka o ličnosti (2017a), Model zakona o zaštiti podataka o ličnosti, http://www.poverenik.rs/yu/model-zakona-o-zatiti-podataka-o-linosti.html

[17] Rajeev K., Kelleher K., Stahlberg E., (2007), Patient Confidentiality in the Research Use of Clinical Medical Databases, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1829362/

[18] Zakon o zaštiti podataka o ličnosti, (2012), "Sl. glasnik RS", br. 97/2008, 104/2009 - dr. zakon, 68/2012 - odluka US i 107/2012

[19] Zakon o zdravstvenoj dokumentaciji i evidencijama u oblasti zdravstva, (2014.), "Sl. glasnik RS", br. 123/2014. i 106/2015

[20] Directives (2011), Directive 2011/83/eu of the European parliament and of the Council, Official journal of the European union

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

TEHNOLOGIJE PRAĆENJA POKRETA OKA

EYE TACKING TECHNOLOGIES

ŽELJKO GAVRIĆ[1], MIROSLAV MINOVIĆ[2]

[1] Fakultet za informacione tehnologije, Slobomir P Univerzitet – Bijeljina, zeljko.gavric@spu.ba
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, miroslav.minovic@mmklab.org

Rezime: *Sistemi za praćenje pokreta oka postali su široko istraživano područje. Glavni cilj istraživanja je postizanje unapređenja interakcije između čovjeka i računara. Područje istraživanja pokreta oka je interdisciplinarno i zahtijeva poznavanje oblasti bioinformatike, elektronike, programiranja, interakcije, psihologije i dr. U ovom radu opisano je ljudsko oko, te dijelovi oka zaduženi za pokretanje. Definisan je pojam pokreta oka, te tehnologije praćenja pokreta oka, sa osvrtom na dostupnu literaturu. U radu su opisane prednosti i nedostaci pojedinih tehnologije za praćenje pokreta oka.*

Ključne reči: *Interakcija čovjeka i računara, Pokret oka, Tehnologije za praćenje pokreta oka.*

Abstract: *Eye tracking systems have become a widely studied field. The main aim of the research is to improve the interaction between human and computer. Researching eye tracking is interdisciplinary and requires knowledge in the fields of bioinformatics, electronics, programming, interaction and psychology. The paper describes the human eye and parts of the eye in charge of movement. It defines the concept of eye movement and eye tracking technologies, with reference to available literature. The paper presents the advantages and disadvantages of individual technologies for monitoring eye movement.*

Keywords: *Human-computer interaction, Eye movement, Eye tracking.*

1. UVOD

Vid predstavlja jedno od najvažnijih čula čovjeka. Organ pomoću koga se ostvaruje vid su oči. Pored vida, oči je moguće iskoristiti i za druge namjene. Naime, razvojem tehnologije otvorile su se mnoge mogućnosti korištenja raznih dijelova tijela za interakciju sa računarom, telefonom, tabletom, ali i nekim drugim uređajima koji u svojoj osnovi sadrže računar. Tokom godina istraživanja ove oblasti identifikovalo se nekoliko pojmova koje istraživači koriste, a to su praćenje pokreta oka, praćenje pogleda oka i detekcija treptaja. Svi ovi pojmovi imaju jednu zajedničku osobinu, a to je da prate oko dok čovjek radi uobičajene aktivnosti, te da prikupljaju podatke na osnovu kojih se donose određeni zaključci. Ovakvi sistemi se primjenjuju u raznim oblastima, od marketinških istraživanja, testiranja upotrebljivosti korisničkih interfejsa, svakodnevnom korištenju računara, tako i u industrijskim i drugim okruženjima. Značajno je pomenuti i primjenu praćenja pokreta oka za otkrivanje bolesti (Chevallier *et al.* 2015).

Prvi sistemi za praćenje pokreta oka javili su se kao potreba da se osobma sa hendikepom omogući interakcija sa računarom. Jedan od prvih sistema koji omogućava unošenje teksta bez ruku, tj. korištenjem pokreta oka opisan je u radu (Hutchinson *et al.* 1989). Najčešća primjena ove tehnologije u komercijalne svrhe je ostvarivanje prirodne interakcije kod video igara i multimedijalne opreme (Corcoran *et al.* 2012). Praćenje pokreta oka je veoma važno za otkrivanje pažnje i namjere korisnika. Ovakvi sistemi se danas primjenjuju u automobilima za praćenje pospanosti vozača, a njihov cilj je da otkriju pospanost i pogodnim načinom pravovremeno obavijeste vozača, te ga podstaknu na sigurniju vožnju (Ji *et al.* 2004, Tayibnapis *et al.* 2016). Tokom poslednjih nekoliko godina tehnologija praćenja pokreta oka doživjela je veliku ekspanziju integrisanjem tehnologije u mobilne uređaje. Tako su poslednjih godina vodeći proizvođači pametnih mobilnih uređaja integrisali sisteme za praćenje pokreta oka u cilju postizanja bolje interakcije između čovjeka i mobilnog uređaja.

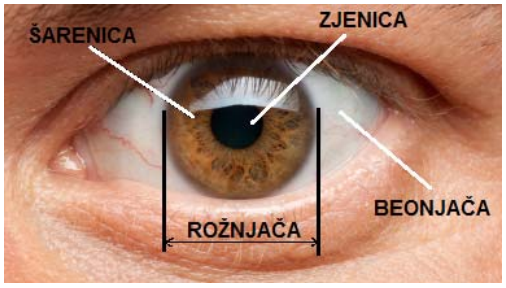
Koncept praćenja pokreta oka u raznim područjima primjene postao je top tema istraživačkih radova tokom poslednjih godina. Korištene su mnogobrojne metode i tehnologije, kao što su elektrookulografija, infracrvena okulografija, razne metode bazirane na korištenju procesiranja slike u realnom vremenu, te metode koje zahtijevaju implantiranje dodatnih komponenata u oko (Bazrafkan *et al.* 2015). Najveći broj

komercijalnih sistema za praćenje pokreta oka koriste jednu ili više kamera i jednu ili više infracrvenih dioda za osvjetljenje (Cho *et al.* 2012).

2. OKO I POKRET OKA

Oko je organ vida kod čovjeka, te predstavlja najvažnije čulo čovjeka, obzirom da njim primamo 90% svih informacija iz okoline.Omogućuje svjesnu percepciju svjetla, vid, koji, između ostalog, omogućava razlikovanje boja i percepciju dubine. Ljudsko oko ima vidno polje od 200˚ i može razlikovati 10 miliona nijansi boja. Ljudsko oko je parni organ koji funkcioniše poput fotoaparata i kamere: prozirni prednji dijelovi oka lome zrake svjetlosti projektujući umanjenu i obrnutu sliku na fotosenzitivnu mrežnjaču gdje se u specijalizovanim nervnim ćelijama obavlja pretvaranje u električne nervne impulse. (Wikipedia n. d.).

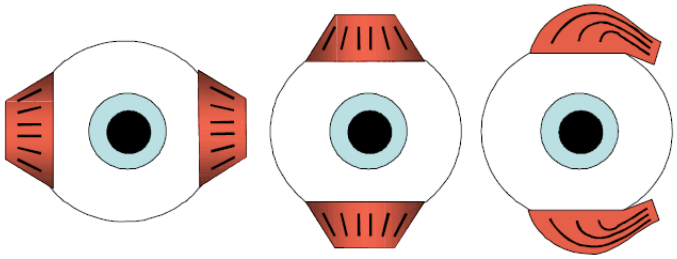
Na slici 1. prikazan je izgled oka.



Slika 1: Prednji izgled ljudskog oka

Svako oko pokreće po tri para očnih mišića. Jedan par je odgovoran za horizontalno pomjeranje, drugi par za vertikalno, a treći par omogućava kružno pomijeranje oko pravca gledanja. Svi mišići zajedno omogućuju kompenzovanje pomijeranja glave. Očna jabučica je pokretljiva oko sve tri ose. Ona ima tri membrane. Spoljnu čine bjeličasto-poluprozirna beonjača i prozirna rožnjača. Beonjača daje oku stanovitu čvrstoću i oblik. Na nju se pripajaju spoljašnji očni mišići. (Drewes 2010)

Na slici 2 prikazana su 3 para mišića koji su zaduženi za pomijeranje oka.



Slika 2: Mišići zaduženi za pokretanje oka (Drewes 2014)

Za pokretanje oka korištenjem očnih mišića zadužen je mozak. Mozak upravlja okom stimulicanjem mišića. Postoje tri osnovne vrste pokreta oka, a to su dedukcija (pokret koji izvodi samo jedno oko), verzija (pokreti koje oba oka izvode u istom smjeru) ili vergencija (pokreti u kojima se oba oka kreću u različitom smjeru) (Wikipedia n. d.).

3. PRAĆENJE POKRETA OKA

Praćenje pokreta oka (eng. eye tracking) predstavlja pojam koji obuhvata praćenje pozicije očiju, a u nekim kontekstima i praćenje pogleda očiju. Pored praćenja pokreta i pogleda, pod širim pojmom opisani su i sistemi koji detektuju treptaj oka (Polatsek 2013). Cilj ovih sistema je da obezbijede pogodnu interakciju čovjeka sa računarom u bilo kojoj oblasti primjene.

Kod praćenja pokreta oka mogu se izdvojiti tri različita tipa pomjeraja oka detektuju, a to su (Bulling 2011):

- Brzi pomjeraji oka (eng. saccades),
- Kratka zaustavljanja (eng. fixations)
- Treptaji oka (eng. blinks).

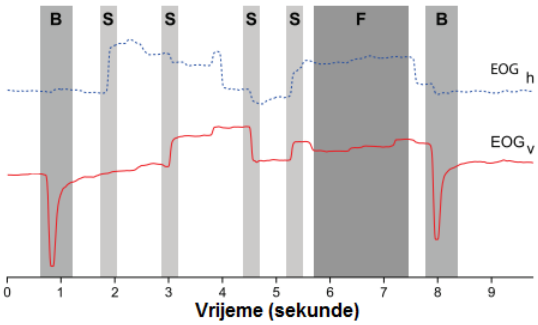
Tokom godina razvoja sistema za praćenje pokreta oka razvile su se mnoge tehnologije, bazirane na naučnim dokazima i studijama. U nastavku su opisane neke od najčešće korištenih tehnologija.

3.1. Elektrookulografija

Elektrookulografija je široko rasprostranjena i uspješno primjenjivana tehnologija za praćenje pokreta oka koja je jednostavna za korištenje kod interakcije između čovjeka i računara (Barea *et al.* 2010).
Oko je moguće posmatrati kao dipol, gdje je pozitivan pol rožnjača (eng. cornea), a negativan pol mrežnjača (eng. retina). Pod pretpostavkom stabilne razlike potencijala između rožnjače i mrežnjače, oko predstavlja izvor stabilnog električnog polja. Električni signal koji je moguće izmjeriti iz oka naziva se elektrookulogram – EOG (Bulling 2011).

Obzirom na razliku napona između mrežnjače i rožnjače, koja iznosi približno 1mV, a koja se mijenja pomijeranjem očiju, moguće je detektovati pokret očiju. Kada se oko pomijera dolazi do promjene orijentacije dipola koja izaziva promjenu električnog polja a može se izmjeriti EOG signalom. Analiziranjem promjene amplitude EOG signala moguće je detektovati horizontalni i vertikalni pomjeraj oka. Za snimanje EOG signala koriste se elektrode koje se postavljaju sa strane očiju, jedan par elektroda oko svakog oka. Elektroda koja se koristi za uzemljenje se postavlja na čelo. (Brown *et al.* 2006)

Na slici 3 prikazan je EOG signal sa 3 karakteristične vrste pokreta očiju.



Slika 3: Izgled EOG signala (Bulling 2010)

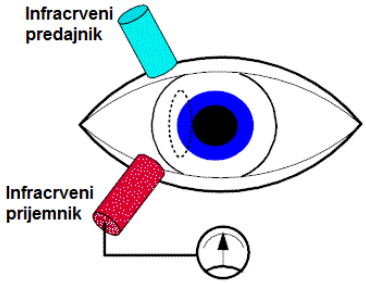
Na prethodnoj slici prikazana su dva EOG signala. Jedan signal označava horizontalan pomjeraj oka (EOG_h), a drugi vertikalan (EOG_v). Regioni na koje je podijeljen dijagram B, S i F respektivno označavaju treptaj, brzi pomjeraj i kratko zadržavanje.

Elektrookulografija je zbog svoje jednostavnosti pronašla primjenu u mnogim poljima, a posebno se ističe primjena u kolicima invalidnih osoba, gdje invalidna osoba upravlja kolicima pomoću pokreta oka (Zheng, 2009 i Bulling *et al.* 2011).

3.2. Infracrvena okulografija

Infracrvena okulografija je često korištena beskontaktna tehnologija koja koristi infracrvenu svjetlost. Ova tehnologija koristi infracrveni predajnik (eng. emiter) i infracrveni prijemnik (eng. detector). Fiksirani predajnik emituje infracrvenu svjetlost koja se odbija od oka i u zavisnosti od količine primljene svjetlosti u prijemniku detektuje se pomjeraj oka. Infracrvena svjetlost je pogodna za ovu namjenu jer se ne vidi golim okom, tj. ne smeta korisniku prilikom obavljanja uobičajenih aktivnosti. Infracrveni predajnik i prijemnik se fiksiraju najčešće na naočare (Gitelman *et al.* 2000).

Najmanji pomjeraj koji je moguće detektovati ovom tehnologijom je pomjeraj od 0.1°, a vremenska rezolucija je 1ms (Borah, 2006). Rastojanje između oka i infracrvenog predajnika/prijemnika treba da bude 1cm (Eggert, 2007). Na slici 4 prikazan je šematski prikaz infracrvene okulografije.



Slika 4: Šematski prikaz infracrvene okulografije (Bulling 2010)

Kod ove tehnologije mjerenja pokreta oka bolje se mjere horizontalni nego vertikalni pomjeraji oka. Kod ove tehnologije problem nastaje nakon treptaja oka, kada se količina reflektovane svjetlosti mijenja određeno

vrijeme i u odsustvu pokreta oka. Tehnologija infracrvene okulografije našla je primjenu u mnogim komercijanim rješenjima (Eggert, 2007).

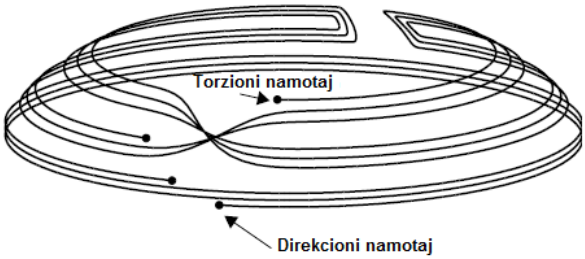
3.3. Kalem na beonjači

Zlatni standard za preciznost kod sistema za praćenje pokreta oka postavili su sistemi koji koriste magnetni kalem na beonjači (eng. scleral coil). Ova tehnologija snima pokrete sa visokom vremenskom i prostornom rezolucijom. Greška prostorne rezolucije je manja od 0.1°, a frekvencija emitovanja podataka je preko 10KHz (Whitmire *et al.* 2016).

Ovi sistemi mjere pokret oka na osnovu promjene napona koji se indukuje u kalemu. Mali kalemovi se postavljaju u kontaktna sočiva ili u anulus. Postavljanje u oko vrši se pod djelovanjem lokalne anestezije. Magnetno polje se generiše od strane dva veća kalema koji se postavljaju sa obe strane glave. Ovo omogućava praćenje horizontalnog pomjeraja glave. Ukoliko je potrebno snimanje i vertikalnog pomjeraja postavlja se dodatni par kalemova ortogonalno uodnosu na prvi par (Eggert, 2007).

Signali koji se indukuju u kalemovima predstavljaju horizontalni i vertikalni pomjeraj. Ukoliko se u oko postavi namotaj odgovarajućeg oblika, moguće je detektovati i torzione pomjeraje oka (Borah, 2006).

Na slici 5 prikazan je izgled kalema koji omogućava praćenje torzionog i direkcionog pokreta oka.



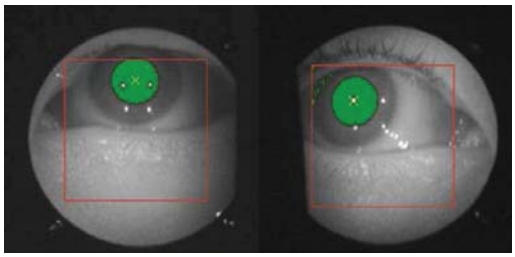
Slika 5: Izgled kalema koji omogućava praćenje torzionog i direkcionog pokreta (Eggert 2007)

Direkcioni namotaj namotan je u jednoj ravni koja je ortogonalna u odnosu na osu gledanja. Torzioni namotaj namotan je u obliku broja osam. Magnetno polje poravnato sa osom pogleda indukuje identične napone, ali suprotnog smjera u dva dijela torzionog namotaja. Obzirom da se naponi istog intenziteta ali suprotnog smjera poništavaju, osa gledanja je nulti pravac torzionog namotaja. (Eggert 2007)

Ova tehnologija omogućava veliku preciznost mjerenja pomjeraja oka, ali zahtjeva implantiranje malih kalema u oči da bi se mogla koristiti.

3.4. Video okulografija

Video okulografija postaje sve više zastupljena u istraživanjima, prvenstveno radi povećanja kvaliteta tehnologije, te smanjenja cijene koštanja. Ova tehnologija zasniva se na korištenju kamere za snimanje oka, te pogodnog algoritma za detekciju oka na slici. Pored kamere, neki sistemi koriste izvor svjetlosti (svjetlosne diode) da bi proziveli odraz svjetlosti na površini oka. Na osnovu detektovanja odraza određuje se pozicija oka (Naruniec *et al.* 2016). Za efikasno korištenje video okulografije, potreban je softver koji realizuje odgovarajući algoritam. Na slici 6 prikazan je izled očiju osvijetljenih svjetlosnom diodom.



Slika 6: Izgled očiju osvijetljenih svjetlom (Hammoud 2008)

Metode za praćenje pokreta oka koje se zasnivaju na video okulografiji mogu se podijeliti u dvije osnovne vrste, a to su metoda zasnovana na izgledu i metoda zasnovana na karakteristikama. Metode zasnovane na izgledu koriste oblik oka i položaj računaju kao relativan odnos između zjenice i uglova očiju, dok metode zasnovane na karakteristikama koriste razne karakteristike očiju kao što su konture, uglovi očiju, odsjaj izazvan infracrvenim svjetlom i sl. (Bazrafkan 2015).

U tabeli 1 prikazani su hardverski zahtjevi sistema koji koriste video okulografiju, te njihova tačnost.

Tabela 1: Hardverski zahtjevi sistema koji koriste video okulografiju (Valenti *et al.* 2012, Corcoran *et al.* 2012, Lu *et al.* 2014, Lee *et al.* 2013, Ebisawa and Fukumoto 2013, Sesma-Sanchez *et al.* 2012)

Metoda	Hardver	Tačnost
Metoda zasnovana na izgledu	Web kamera rezolucije 720x576 na udaljenosti 75cm	2°-5°
Metoda zasnovana na izgledu	Kamera rezolucije 640x480 na udaljenosti 40-70cm	4°
Metoda zasnovana na izgledu	Web kamera rezolucije 1280x1024 na udaljenosti 50-60cm	1° ako je glava fiksirana 2° ako je glava u sporom pokretu
Metoda zasnovana na karakteristikama	Kamera 8MP 25 – 30 led dioda	1°
Metoda zasnovana na karakteristikama	Dvije kamere, dva kružna seta dioda po svakoj kameri	1°
Metoda zasnovana na karakteristikama	Kamera rezolucije 1024x768 sa jednim izvorom infracrvene svjetlosti	0,4° ako je glava fiksirana 1° ako je glava u sporom pokretu

4. ZAKLJUČAK

Područje istraživanja pokreta oka je jako aktualno, te se stalno javljaju nove savremene tehnologije koje doprinose ovoj oblasti. Ovakvi sistemi se primjenjuju u raznim oblastima, od marketinških istraživanja, testiranja upotrebljivosti korisničkih interfejsa, svakodnevnom korištenju računara, tako i u industrijskim i drugim okruženjima. Povećanjem mogućnosti uređaja koji se koriste za realizaciju sistema za praćenje pokreta oka, ali i smanjenjem njihove cijene koštanja, ovi uređaji vremenom postaju široko dostupni.

Ovaj rad opisuje tehnologije praćenja pokreta oka. Na početku rada opisano je ljudsko oko, kao i dijelovi oka koji su bitni za praćenje pokreta, te mišići pomoću kojih se pokreće oko. U nastavku rada su opisane tehnologije za praćenje pokreta oka. Na osnovu prikazanih podataka, može se zaključiti da je najpreciznija tehnologija mjerenja pokreta oka ona koja koristi kalem na beonjači, ali ona zahtjeva implantiranje kalema u oko. elektrookulografija takođe omogućava dobru preciznost, ali zahtijeva postavljanje elektroda na lice, koje nisu praktične za svakodnevno korištenje. Tehnologija infracrvene okulografije omogućuje dobru preciznost, ali zahtijeva da infracrveni prijemnik i predajnik budu na malom rastojanju od oka, što je jedan od problema ove tehnologije. Kod ove tehnologije postoji problem treptaja koji je opisan u radu. Video okulografija predstavlja jednu od tehnologija koja je najviše u ekspanziji, prvenstveno zbog poboljšanja kvaliteta kamera koje se mogu pronaći na tržištu, ali i zbog razvoja algoritama za prepoznavanje pokreta oka.

Ovaj rad predstavlja uvod i pregled literature iz oblasti praćenja pokreta oka i kao takav predstavlja osnovu za dalje istraživanje u ovoj oblasti.

LITERATURA

[1] Barea, R., Boquete, L., Rodriguez-Ascariz, J. M., Ortega, S., & López, E. (2010). Sensory system for implementing a human—computer interface based on Electrooculography. Sensors, 11(1), 310-328.

[2] Bazrafkan, S., Kar, A., & Costache, C. (2015). Eye Gaze for Consumer Electronics: Controlling and commanding intelligent systems. IEEE Consumer Electronics Magazine, 4(4), 65-71.

[3] Borah, J. (2006). Eye Movement, Measurement Techniques for. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation. John Wiley & Sons.

[4] Brown, M., Marmor, M., Zrenner, E., Brigell, M., & Bach, M. (2006). ISCEV standard for clinical electro-oculography (EOG) 2006. Documenta ophthalmologica, 113(3), 205-212.

[5] Bulling, A., Ward, J. A., Gellersen, H., & Troster, G. (2011). Eye movement analysis for activity recognition using electrooculography. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 33(4), 741-753.

[6] Chevallier, C., Parish-Morris, J., McVey, A., Rump, K. M., Sasson, N. J., Herrington, J. D., & Schultz, R. T. (2015). Measuring social attention and motivation in autism spectrum disorder using eye-tracking: Stimulus type matters. Autism Research, 8(5), 620-628.

[7] Cho, D. C., Yap, W. S., Lee, H., Lee, I., & Kim, W. Y. (2012). Long range eye gaze tracking system for a large screen. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 58(4).

[8] Corcoran, P. M., Nanu, F., Petrescu, S., & Bigioi, P. (2012). Real-time eye gaze tracking for gaming design and consumer electronics systems. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 58(2).

[9] Corcoran, P. M., Nanu, F., Petrescu, S., & Bigioi, P. (2012). Real-time eye gaze tracking for gaming design and consumer electronics systems. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 58(2).

[10] Drewes, H. (2010). Eye gaze tracking for human computer interaction(Doctoral dissertation, lmu).

[11] Drewes, H. (2014). Eye Gaze Tracking. Interactive Displays: Natural Human-Interface Technologies, 251-283.

[12] Ebisawa, Y., & Fukumoto, K. (2013). Head-free, remote eye-gaze detection system based on pupil-corneal reflection method with easy calibration using two stereo-calibrated video cameras. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 60(10), 2952-2960.

[13] Eggert, T. (2007). Eye movement recordings: methods. In Neuro-Ophthalmology (Vol. 40, pp. 15-34). Karger Publishers.

[14] Gitelman, D. R., Parrish, T. B., LaBar, K. S., & Mesulam, M. M. (2000). Real-time monitoring of eye movements using infrared video-oculography during functional magnetic resonance imaging of the frontal eye fields. Neuroimage, 11(1), 58-65.

[15] Hammoud, R. I. (Ed.). (2008). Passive eye monitoring: Algorithms, applications and experiments. Springer Science & Business Media.

[16] Hutchinson, T. E., White, K. P., Martin, W. N., Reichert, K. C., & Frey, L. A. (1989). Human-computer interaction using eye-gaze input. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 19(6), 1527-1534.

[17] Ji, Q., Zhu, Z., & Lan, P. (2004). Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue. IEEE transactions on vehicular technology, 53(4), 1052-1068.

[18] Lee, H., Iqbal, N., Chang, W., & Lee, S. Y. (2013). A calibration method for eye-gaze estimation systems based on 3D geometrical optics. IEEE Sensors Journal, 13(9), 3219-3225.

[19] Lu, F., Sugano, Y., Okabe, T., & Sato, Y. (2014). Adaptive linear regression for appearance-based gaze estimation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 36(10), 2033-2046.

[20] Naruniec, J., Wieczorek, M., Szlufik, S., Koziorowski, D., Tomaszewski, M., Kowalski, M., & Przybyszewski, A. (2016). Webcam-based system for video-oculography. IET Computer Vision, 11(2), 173-180.

[21] Polatsek, P. (2013). Eye Blink Detection. Slovak University of Technology in Bratislava. Faculty of Informatics and Information Technologies. IIT. SRC, 18.

[22] Sesma-Sanchez, L., Villanueva, A., & Cabeza, R. (2012). Gaze estimation interpolation methods based on binocular data. IEEE transactions on biomedical engineering, 59(8), 2235-2243.

[23] Tayibnapis, I. R., Koo, D. Y., Choi, M. K., & Kwon, S. (2016, September). A novel driver fatigue monitoring using optical imaging of face on safe driving system. In Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC), 2016 International Conference on (pp. 115-120). IEEE.

[24] Valenti, R., Sebe, N., & Gevers, T. (2012). Combining head pose and eye location information for gaze estimation. IEEE Trans. Image Process., vol. 21, no. 2, pp. 802–815.

[25] Whitmire, E., Trutoiu, L., Cavin, R., Perek, D., Scally, B., Phillips, J., & Patel, S. (2016, September). EyeContact: scleral coil eye tracking for virtual reality. In Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers (pp. 184-191). ACM.

[26] Wikipedia: slobodna enciklopedija. (n. d.). FL: Wikimedia Foundation, Inc. Pristupano 01.07.2017. Dostupno na: https://sr.wikipedia.org/wiki/Oko

[27] Wikipedia: slobodna enciklopedija. (n. d.). FL: Wikimedia Foundation, Inc. Pristupano 01.07.2017. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_movement

[28] ZA, A. P. S. A. H., Raveena, P. V., Arun, K. S., & Nithya, P. N. Eye Tracking System Using Isophote Eye Center Detection With Blink Perception.

[29] Zheng, X., Li, X., Liu, J., Chen, W., & Hao, Y. (2009, April). A portable wireless eye movement-controlled human-computer interface for the disabled. In Complex Medical Engineering, 2009. CME. ICME International Conference on(pp. 1-5). IEEE.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

IZAZOVI DIZAJNA ORGANIZACIJE PRI PRIMENI KLAUD TEHNOLOGIJE

ORGANIZATION DESIGN CHALLENGES WHEN ADDOPTING CLOUD TECHNOLOGY

RADE STANKIĆ

[1] Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, rstankic@ekof.bg.ac.rs

ANA ALEKSIĆ MIRIĆ

[1] Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, anaa@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Moderno poslovanje veoma zavisi od informacionih sistema i softverskih rešenja koja oni koriste. Sa revolucijom klaud computinga, organizacije su se suočile sa mogućnošću pristupa do tada nezamislivim računarskim moćima, mogućnostima da koriste IT resurse putem automatskog pristupa, da budu podstaknute na intenzivnu saradnju među zainteresovanim stranama u organizaciji i poboljšaju ukupno poslovanje. Istovremeno, suočile su se i sa izazovom da li njihovi organizacioni kapaciteti mogu da odgovore zahtevima moderne tehnologije. U ovom radu analiziramo izazove dizajna organizacije kada kompanije usvajaju cloud tehnologiju.*

Ključne reči: *organizacioni dizajn, Klaud tehnologija*

Abstract: *Modern business depends very much on the information systems and software solutions they use. With revolution of cloud computing, organizations were faced with the opportunity to get access to never seen before computing power, utilize IT resources through automatic provisioning and release, to foster more intensive collaboration among the stakeholders in the organization and to improve the overall business performance. At the same time, they also faced the challenge of whether their organizational capacities can meet the demands of modern technology. In this paper we analyze organization design challenges when companies adopt cloud technology.*

Keywords: *Organization design, Cloud technology,*

1. INTRODUCTION

Organizations today must constantly think about how to maintain the existing market position (if it is satisfactory), as well as to find ways to improve this position. Sometimes, opportunities for the improvement of the competitive position do not come directly from the field of core business, but are related to the activities that support the core business, by enabling cost reduction and increasing efficiency, achieving speed and agility in responding to the requests of the core business and/or end -users, by supporting excellence in all processes and improving overall organization's performance. However, the provision of excellence in all aspects of business is hardly possible for the organization to achieve independently. Tough competition and speed of innovation require from organizations to specialize and to recognize what it is that they do best. The areas in which an organization performs best should preferably be the ones essential for investing the most of organization's resources and efforts to maintain a superior position. But if support activities do not develop at the same speed and quality, they will hinder that growth and will not allow organizations to express their full potential [2, 3]. IT business is too sophisticated, too dynamic and complex for the organizations that are not in it to develop independent IT systems that will be competitive enough. Therefore, a large number of organizations today develop interorganizational cooperation with IT specialized firms.

With revolution of cloud computing, organizations were faced with the opportunity to get access to never seen before computing power, utilize IT resources through automatic provisioning and release, to foster more intensive collaboration among the stakeholders in the organization and to improve the overall business performance [5]. At the same time, they were faced with questions like the adequacy of their existing strategies and organization design for cloud computing, managerial capabilities to meet the decision-making requirements of the cloud infrastructure, changes in organizational culture and skill shift challenges in transitioning to cloud computing, to name a few. In other words, organizations were faced with the question if they have capacity to meet the challenges of cloud infrastructure and ability to value, assimilate and commercialize this new, external knowledge.

2. WHY WOULD ORGANIZATION OPT FOR CLOUD

One of the most prominent trends in the business software sphere is the use of IT resources as a service, not as a product. Such modern approach to computing is called Cloud Computing. There are many definitions of this concept, but it seems that the definition of the Department of Computer Security at the US Department of Commerce best describes the essence of this concept. It reads: " Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction."[1]

According to Armbrust et al [1], the following qualities characterize cloud outsourcing in comparison with traditional IT in-firm organization: agility, accessibility, utilization, cost-conciseness and performance. The key features that forms the basis of the operation of cloud computing are: independent use on demand, a wide range of network access capabilities, uninterrupted sharing of resources, flexibility and service ability.

Users can use cloud resources from anywhere and at anytime. Resources include server time and physical space on storage devices, accessed without the need for human intervention either by the client or by the service provider. Cloud is available to customers over the network and can be accessed from various devices, such as desktop computers, mobile phones, smartphones, etc. The provider's computer resources are allocated so that they can serve a large number of users at the same time. according to user requirements the system dynamically distributes the power of the processor, the amount of memory and other resources. Users do not have the control over physical resource locations, but by adjusting the system parameters that they use from the Cloud, they can determine where their data will be stored and processed (for example, a particular data storage center, a particular country, etc.). Furthermore, Cloud capabilities can be very quickly and elastically provided to the user of the system, if it has needs for the team. Let's assume that the website of an enterprise is in Cloud and that the number of visitors is even every day. However, if for any reason there is a significant increase in the number of users, system automatically allocates the necessary resources for the website to function smoothly, and when the number of visitors reverts to the usual level, the resources are automatically reduced. The user can use additional resources at any time and on any scale. Finally, which is very important for business users, the use of resources is automatically controlled and optimized according to the needs of the user and the type of resources - disk space, processor power, amount of memory, and the like. The use of all services is measurable and transparent for both parties - providers and users. This is very important, because the financial moment plays a big role, especially when it comes to big users [6,7,8].

Over the past few years, the Cloud Computing concept has been increasingly adopted on the market. The cloud model can be particularly appealing to smaller companies with a limited number of technological staff. It is more suitable for certain types of business software, such as Customer Relationship Management, Human Resource Management, Project Management, and the like.

3. IMPLICATIONS OF CLOUD TECHNOLOGY FOR ORGANIZATIONAL DESIGN

Though outsourcing IT operations, **organizations using cloud services** should still nurture the essential IT specialists within it. However, these specialists should undergo a change in roles and responsibilities they have in managing IT service: they should shift from a more operational into a more strategic role. They used

[1] https://www.nist.gov/news-events/news/2011/10/final-version-nist-cloud-computing-definition-published

to be operatives who deliver infrastructure needed to support business, maintain core operations, with lots of manual tasks. In new circumstances, they should transit from providers into the role of coordinators, analyzers, monitors and evaluators.

When addressing the change in the role, they should be taken responsible for deciding which organization they should ally with in order to outsource their IT tasks, what their strategic requirements from the partnering organization are?, etc.

This new role should be built around the governance structure of the cloud itself, control rights and outsourcing issues (like the issues of knowledge protection etc). In that manner they should

- Formulate organization's needs and expectations from the cloud provider, but in a dynamic sense, which means to develop ability to negotiate changing needs as organization develops.
- Develop direct connection with **legal** department so that they could work together on the contract, evaluation of vendors, enable data security in terms of knowledge leakages and protection of intellectual capital.
- Be given authority to **discuss with organizational units** specifics of their work, and to ensure that these specificities are adequately formulated towards the Cloud provider, in order to be taken into consideration and adequately met.
- They should be knowledgeable about key sources of organizational knowledge and should develop understanding about how this specific outsourcing can enrich or harm these knowledge repositories. In this issue, they should be strongly supported by Chief Knowledge Officer if there is any in organization. Strongly connected to this, they should understand the variety of risks organization might face when going cloud. And should be connected to Chief Risk Officer or risk department if any.
- Should **have direct communication line towards upper management echelons**, that are holding decision making power, in order to efficiently transmit information of strategic importance or requirements and establish a link between top management and cloud provider.

When organization transits onto cloud supported IT, its original IT organizational unit should undergo changes. These changes should be mostly based on IT centralization and probably downsizing of an IT unit. IT unit should probably take a form of functional unit grouping which would enable for (1) all specific skills and knowledge are consolidated, (2) economies of scale, (3) flat structure and simplicity and (4) consequent flexibility.

IT centralization would be beneficial for the following reasons: strategic leadership, cost control, clear communications, experience and knowledge accumulation and clear policies that apply to all.

IT specialists working in IT department need to improve their non-core competences and to transit from the role of specialists who are able to produce solution by themselves into strategists, architects, monitors and evaluators – meaning transiting from functional specialists into strategic partners of top management, with the representative directly reporting to the CEO. And this is not an incremental change because IT in organizations was traditionally an example of a unique subculture which is sometimes detached from other organizational units. But this transition is essential for organization to collect full benefits of cloud outsourcing.

While an organization using cloud provider services will probably go through the process of centralization and maybe even downsizing of its unit, **cloud provider, to be able to meet a variety of clients' requirements, should exercise a decentralized client-oriented structure.** In general, they could be advised to apply hybrid structure as a combination of various structure approaches as to be

- tailored to specific needs
- able to adjust to rapidly changing environments
- flexible enough

Decentralization is important so that a person that works with specific clients can promptly respond to the clients' needs. They should be given authority for client-related decision-making.
Cloud provider also needs to develop a set of skills in order to be able to meet the challenges of different clients, among others|:

- Flexibility to different demands
- Ability to listen, to understand and translate the needs into adequate solution
- Ability to innovate at the pace of client innovation – to be able to run the two businesses with compatible dynamics

The relationship between the two organizations should be defined through the use of both formal and informal mechanisms of cooperation. So, mutually, they need to develop strong capabilities of relational coordination:

- High level of horizontal coordination
- Frequent, timely, problem-solving communication
- Relationships of shared goals, shared knowledge, and mutual respect

Formal aspects are essential for making the expectations clear, so they should work together on contract management issues and have participative decision making with regard to joint project. They should define clear goals and develop a set of formal rules. But, informal coordination based on building relationship and mutual trust are as equally important because focusing only on formal issues can present built-in barriers for explorative learning and innovation.

One of the most vulnerable organizational systems that shows high rigidity in changing is incentive system. Incentive system is especially ignored as a mechanism for achieving organizational goals and managers often reject to see the need for adjusting incentive structure as to support intended goals. It is important that incentive system change follows other organizational changes introduced by cloud solution and that it fits overall organizational strategy of cloud adoption.

Previously elaborated is systematized on Figure 1.

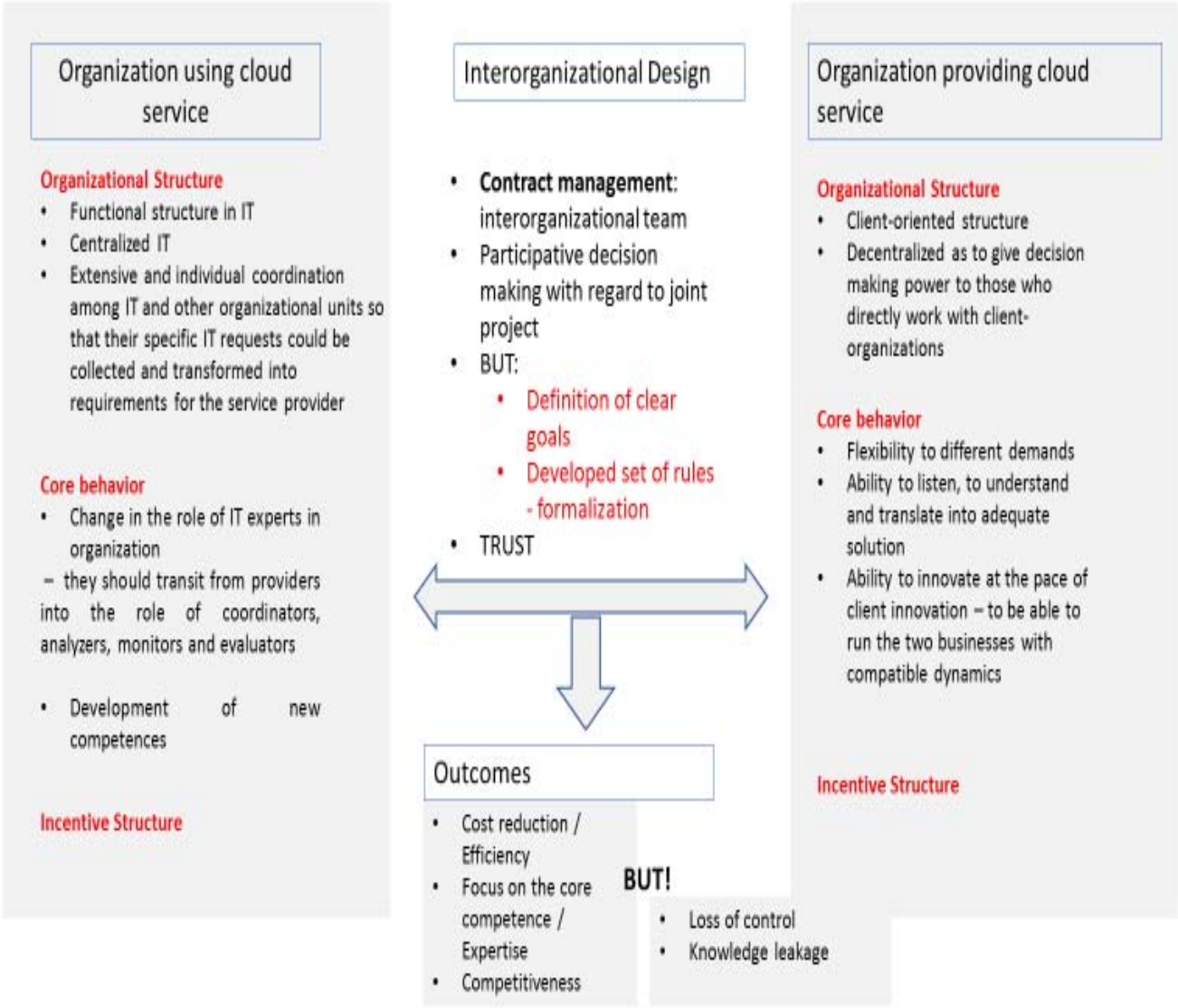


Figure 1. Organizational design challenges and Cloud technology

Source: Authors

CONCLUSION

It can be concluded that modern business depends very much on the information systems and software solutions they use. Therefore, monitoring modern trends in the business software market has become so important that any inertia can lead to a loss of competitive advantage, and in some cases, it can even endanger the survival of the company itself.

Modern companies are facing a number of difficulties when it comes to the application of information technology. Business systems are becoming more and more complex and require significant human resources, so staff in IT departments have a difficult task to maintain and improve the system, both due to technology advancement and the difficulty of their acceptance by employees, especially when it comes to large enterprises. Large enterprises, unlike small and medium-sized enterprises, have a difficult situation, because they are less agile and flexible, so they can not react quickly to changes and adapt.

When an organization transits onto cloud supported IT, its original IT organizational unit should undergo changes. These changes should be mostly based on IT centralization and probably downsizing of an IT unit. IT unit should probably take a form of functional unit grouping which would enable all specific skills and knowledge to be consolidated, should also enable economies of scale, flat structure and simplicity and

consequently flexibility. IT specialists working in IT department need to improve their non-core competences and to transit from the role of specialists who are able to produce solution by themselves into strategists, architects, monitors and evaluators. While an organization using cloud provider services will probably go through the process of centralization and maybe even downsizing of its unit, a cloud provider, in order to be able to meet a variety of clients requirements, should exercise decentralized client-oriented structure. In general, they could be advised to apply hybrid structure as a combination of various structure approaches as to be tailored to specific needs, to be able to adjust to rapidly changing environments and to be flexible enough

LITERATURA

[1] Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., et al. (2010). A view of cloud computing. Communications of the ACM, 53(4), 50-58.

[2] Davenport, T. „Competing on Analytics“, Harvard Business Review, 2006.

[3] Manyika, J. et al. „*Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*“, McKinsey Global Institute, 2011, www.mckinsey.com.

[4] McAfee A., Brynjolfsson E. „*Big Data: The Management Revolution*“, Harvard Business Review, 2012.

[5] Majendran,S., 2013, *Organizational Challenges in Cloud Adoption and Enablers of Cloud Transition Program, http://web.mit.edu/smadnick/www/wp/2013-13.pdf*

[6] Soldić-Aleksić J. Stankić R, „*Business Inteligence*“, International Encyclopedia of Statistical Science. Springer, New York, 2011.

[7] Turban E., *Electronic Commerce*, Prentice Hall, 2012.

[8] Zikopoulos P. et al. „*Understanding Big Data*“, New York: McGraw Hill, 2012.

2017

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MERENJE ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH PERFORMANSI REPUBLIKE SRBIJE

MEASUREMENT OF RESEARCH AND DEVELOPMENT PERFORMANCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

ANA KRSTIĆ [1], **PREDRAG MIMOVIĆ** [2], **DRAGANA REJMAN PETROVIĆ**[3]

[1] Univerzitet u Kragujevcu, Ekonomski fakultet, anakrstic@kg.ac.rs
[2] Univerzitet u Kragujevcu, Ekonomski fakultet, mimovicp@kg.ac.rs
[3] Univerzitet u Kragujevcu, Ekonomski fakultet, rejman@kg.ac.rs

Rezime: *U radu se mere i analiziraju performanse Republike Srbije u oblasti istraživanja i razvoja (I&R). Posmatran je period 2007-2014.godina, a korišćeni su podaci Svetske banke i Eurostata. Primenjen je DEA model sa sedam ulaza i četiri izlaza koji je korelacionom analizom sveden na model sa dva ulaza i dva izlaza kako bi se dobili objektivniji rezultati u merenju efikasnosti. Dobijeni rezultati pokazuju pad relativne efikasnosti koji se poklapa sa prvim znacima svetske finansijske krize u Srbij, ali i relativno efikasno korišćenje naučno-istraživačkih resursa u posmatranom periodu. Analiza pokazuje da su, u tom smislu, najznačajniji korelirajući faktori, koji reflektuju stanje u oblasti istraživanja i razvoja, izdvajanje za istraživanje i razvoj kao procenat BDP i ukupan broj istraživača i naučnika, broj naučnih i tehničkih radova i publikacija i ostvareni prihodi od naplata za korišćenje intelektualnog vlasništva (u milionima dolara). Za potrebe kalkulacija, korišćeni su softverski paketi DEAFrontier i Statplus.*

Ključne reči: *istraživanje i razvoj, nacionalna ekonomija, performanse, efikasnost, DEA, Republika Srbija.*

Abstract: *The paper measures and analyzes the performance of the Republic of Serbia in the field of research and development (R & D). The period between 2007 and 2014 was analyzed, and data from the World Bank and Eurostat were used. DEA model was applied with seven inputs and four outputs, which was reduced with correlation analysis to the model with two inputs and two outputs in order to obtain objective results in measuring efficiency. The results show a decline in the relative efficiency of which coincides to the first signs of the global financial crisis in Serbia, as well as relatively efficient use of scientific and research resources in the analyzed period. The analysis shows that, in this regard, the most correlating factors, that reflect the situation in the field of research and development are the funding of research and development as a percentage of BDP and the total number of researchers and scientists, the number of scientific and technical papers and publications and the revenues from payment for the use of intellectual property (in millions of dollars). For the purposes of calculation, software packages DEAFrontier and StatPlus were used.*

Keywords: *reasearch and development, national economy, performance, efficiency, DEA, Republic of Serbia*

1. DEA MODEL ZA OCENU EFIKASNOSTI REPUBLIKE SRBIJE: ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNI I OBRAZOVNI ASPEKT

Merenje istraživačko-razvojne efikasnosti nacionalnih ekonomija je u prošlosti bilo predmet istraživanja brojnih studija (Rousseau & Rousseau, 1998; Lee & Park, 2005; Lee & Choi, 2009; Wang & Huang, 2007; Sharma & Thomas, 2008; Thomas & Sharma, 2009 i 2011; Hu et al. 2014 itd.). Za ocenu efikasnosti Republike Srbije u domenu istraživanja i razvoja, razvijen je bazični CRS, ulazno orijentisani DEA (Martić & Savić, 2001) model sa sedam ulaza i četiri izlaza. Podaci su prikupljeni iz raspoloživih baza Svetske banke i Eurostata. Kao ulazi su uzeti sledeći faktori: I1-Izdvajanje za istraživanje i razvoj kao procenat BDP, I2-izdvajanje za visoko obrazovanje kao procenat BDP, I3-ukupan broj istraživača i naučnika, I4- broj istraživača i naučnika u visokom obrazovanju, I5- procenat BDP za visoko obrazovanje, I6- sredstva namenjena istraživanju i razvoju kao procenat bruto domaće potrošnje, I7- sredstva namenjena visokom obrazovanju kao procenat bruto domaće potrošnje. Kao izlazi za potrebe formiranja odgovarajućeg DEA

modela, korišćeni su sledeći pokazatelji: O1- Izvoz high-tech sektora kao procenat ukupnog izvoza, O2- broj naučnih i tehničkih radova i publikacija na godišnjem nivou, O3- broj patenata na godišnjem nivou, O4 – naplata za korišćenje intelektualnog vlasništva (u milionima dolara). Kao DMUs, uzete su godine u periodu 2007-2014.godina.

Tabela 1 daje pregled kretanja vrednosti identifikovanih ulaza i izlaza, koje je Republika Srbija ostvarila u periodu 2007-2014.godina. Primenom odgovarajućeg DEA modela, u kojem su godine u tom periodu posmatrane kao DMU, izračunate su ostvarene relativne efikasnosti (tabela 2).

Tabela 1. Ulazno-izlazna matrica za primenu DEA modela merenja efikasnosti I&R i sektora visokog obrazovanja Republike Srbije

DMU	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	O1	O2	O3	O4
2007	0,4	0,44	10980	8170	4,5	6,9	16,4	3,6	2477	395	10451909
2008	0,4	0,46	11437	8320	4,7	7,8	18,3	3,3	2897	386	27373331
2009	0,9	0,47	12006	8648	4,8	8,3	20,9	2,8	3509	319	63284800
2010	0,74	0,38	12637	9668	4,6	8,6	28,4	2,4	3948	290	38964882
2011	0,72	0,41	13609	10506	4,5	9,1	21,8	2	4712	180	56749766
2012	0,91	0,42	13249	9879	4,4	5,8	33,7	2,6	5599	192	35369226
2013	0,73	0,39	14643	11015	4,6	7,5	25,1	2,1	5169	201	44428066
2014	0,77	0,35	15163	10764	4,8	8,2	25,9	2,3	5273	202	41044240

Sve izračunate relativne efikasnosti u posmatranom periodu jednake su 1, što nije realna slika kretanja efikasnosti u posmatranom periodu, a razloge toga bi trebalo tražiti u prevelikom broju faktora koji predstavljaju ulaze i izlaze u DEA modelu, s obzirom da je njihov preporučljiv broj barem dvostruko manji od broja DMU.. Zato je u radu primenjena korelaciona analiza kako bi se eliminisali slabo korelirajući faktori i dobio DEA model odgovarajuće složenosti, a samim tim i objektivnija mera relativne efikasnosti. U tabeli 2 su prikazane izračunate vrednosti koeficijenata korelacije, nakon čega su eliminisani grupe ulaza i izlaza (I2, I5, I6, I7 vs O1, O3) kod kojih je potvrđena nulta hipoteza ili postoji negativna korelacija. Osim toga, kako između ulaza I3 i I4 postoji visoka korelacija, eliminisan je i ulaz I4, jer je logično da je ulaz I3 važniji, s obzirom da ukupan broj naučnika i istraživača uključuje broj naučnika u visokom obrazovanju. Redukovana DEA matrica sa dva ulaza i dva izlaza, prikazana je u tabeli 3.

Tabela 2. Matrica koeficijenata korelacije

Variable vs. Variable	R
I4 vs. I3	0,9651
O3 vs. O2	-0,9642
O3 vs. I4	-0,9320
O1 vs. I4	-0,9254
O3 vs. O1	0,9062
O2 vs. I4	0,8988
O2 vs. I3	0,8964
O3 vs. I3	-0,8907
O1 vs. I3	-0,8577
O2 vs. O1	-0,8273
I4 vs. I2	-0,8117
I3 vs. I2	-0,8111
O2 vs. I7	0,8059
O4 vs. I1	0,7409
I7 vs. I1	0,7326
O2 vs. I1	0,7260
O3 vs. I1	-0,7062

O4 vs. O1	-0,7028
O3 vs. I7	-0,6938
O1 vs. I2	0,6707
O1 vs. I1	-0,6699
O2 vs. I2	-0,6578
O3 vs. I2	0,6468
I7 vs. I4	0,5842
O1 vs. I7	-0,5722
O4 vs. I6	0,5605
I7 vs. I3	0,5573
I3 vs. I1	0,5494
O4 vs. O3	-0,5419
I4 vs. I1	0,5331
I7 vs. I2	-0,5321
I6 vs. I5	0,5091
O4 vs. I4	0,4445
O4 vs. O2	0,4393
O4 vs. I3	0,4390
O1 vs. I6	-0,4100
O4 vs. I5	0,3475
I7 vs. I6	-0,3167
I7 vs. I5	-0,3043
I2 vs. I1	-0,2781
O4 vs. I7	0,2222
O3 vs. I5	0,2184
I6 vs. I2	-0,1932
I6 vs. I4	0,1862
O2 vs. I5	-0,1785
I6 vs. I3	0,1556
O2 vs. I6	-0,1162
I5 vs. I3	0,1136
I5 vs. I4	-0,0794
O3 vs. I6	-0,0605
O4 vs. I2	-0,0582
I5 vs. I1	0,0516
I6 vs. I1	0,0182
I5 vs. I2	-0,0119
O1 vs. I5	0,0108

Tabela 3. Redukovana ulazno-izlazna matrica za primenu DEA modela merenja efikasnosti I&R i sektora visokog obrazovanja Republike Srbije

DMU	**I1**	**I3**	**O2**	**O4**
2007.	0,4	10980	2477	10451909
2008.	0,4	11437	2897	27373331
2009.	0,9	12006	3509	63284800
2010.	0,74	12637	3948	38964882
2011.	0,72	13609	4712	56749766
2012.	0,91	13249	5599	35369226
2013.	0,73	14643	5169	44428066
2014.	0,77	15163	5273	41044240

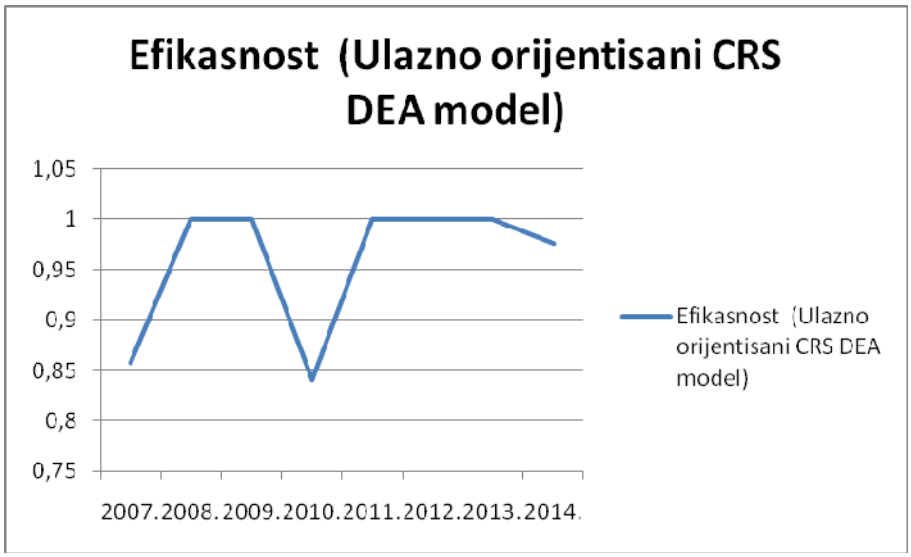
Analiza kretanja vrednosti izabranih kritičnih faktora pokazuje da je u pogledu ulaza, u posmatranom periodu rastući trend prisutan kod ulaza I3, dok je kod ulaza I1 taj trend promenljiv. S druge strane, kod izlaza, broj naučnih i tehničkih radova (O2) u posmatranom periodu pokazuje trend kontinuiranog rasta, dok ostvareni prihodi za korišćenje intelektualnog vlasništva variraju po godinama.

2. REZULTATI DEA MODELA

Efikasnosti izračunate primenom redukovanog DEA modela, formiranog eliminacijom irelevantnih ulaza i izlaza, značajno odstupaju od vrednosti dobijenih primenom polaznog DEA modela i predstavljaju objektivniju sliku i meru efikasnosti u posmatranom periodu. Efikasnost u 2007.godini predstavljala je 85,7% efikasnosti u referentnim godinama, nakon čega je relativna efikasnost jednaka 1, zaključno sa 2010.godinom, u kojoj je efikasnost 84,%, najniža u odnosu na referentne godine. Ovako niska efikasnost bi se moglo objasniti početkom svetske finansijske krize koja je otprilike, u to vreme počela da se oseća i u Srbiji. Već od 2011.godine, pa sve do 2013., efikasnost je ponovo bila jednaka 1, da bi u 2014.godini iznosila 97,56%. Uporedna analiza ostvarenih i ciljanih vrednosti ulaza, pokazuje primetno odstupanje kod svih ulaza u 2010.godini, dok kod izlaza nema odstupanja izuzev u prvoj i poslednjoj godini posmatranog perioda (tabela 5). Dakle, sa manjim izdvanjima iz BDP-a i manjim brojem istraživača i naučnika, Republika Srbija bi racionalnije i efikasnije koristila svoje reusrse u oblasti istraživanja i razvoja, nego što je to bio slučaj u 2010.godini, a u odnosu na referentne godine. Ipak, uza sve to, a s obzirom na prateće okolnosti u kojima se našla ekonomija Republike Srbije u posmatranom periodu, prosečna ostvarena efikasnost iznosila je, reklo bi se, iznenađujućih, ali više nego zadovoljavajućih 95,9% referentne vrednosti. Tabela 6 daje uporedni prikaz kretanja I/R efikasnosti uposmatranom periodu i stope rasta BDP-a. Ako se posmatra eventualna povezanost sa prosečnom stopom rasta bruto domaćeg proizvoda u periodu 2007-2014.godina, korelaciona analiza pokazuje da takva povezanost ne postoji, s obzirom da je p= 0,4567 i veća je od dozvoljenih 0,05 (tabela 7), čime je potvrđeno ono što je i u nekim ranijim analizama (Boskin and Lau, 1996, EC, 2008, EC, 2009) pokazano, da nema jake povezanosti između ove dve varijable.

Tabela 4. Matrica efikasnosti

DMU	Efikasnost (Ulazno orijentisani CRS DEA model)
2007.	0,85759
2008.	1,00000
2009.	1,00000
2010.	0,84037
2011.	1,00000
2012.	1,00000
2013.	1,00000
2014.	0,97565



Grafik 1. Kretanje efikasnosti u periodu 2007-2014.godina

Tabela 5. Ciljane vrednosti ulaza i izlaza

DMU	I1	I3	O2	O4
2007.	0,34303	9416,28911	2477	23127174,28414
2008.	0,40000	11437,00000	2897	27373331,00000
2009.	0,90000	12006,00000	3509	63284800,00000
2010.	0,62188	10619,81789	3948	38964882,00023
2011.	0,72000	13609,00000	4712	56749766,00044
2012.	0,91000	13249,00000	5599	35369226,00000
2013.	0,73000	14643,00000	5169	44428066,00000
2014.	0,75125	14793,83018	5273	44619863,49067

Tabela 6. Uporedni prikaz kretanja efikasnosti ekonomije Republike Srbije i stope rasta BDP-a, u periodu 2007-2014.godina

DMU	I/R efikasnost (Republika Srbija)	Stopa rasta BDP (%)
2007.	0,85759	5,9
2008.	1	5,4
2009.	1	-3,1
2010.	0,84037	0,6
2011.	1	1,4
2012.	1	-1,0
2013.	1	2,6
2014.	0,97565	-1,8

Tabela 7. Matrica koeficijenata korelacije
Correlation Coefficients Matrix

		I/R efikasnost (Republika Srbija)	Stopa rasta BDP (%)
I/R efikasnost (Republika Srbija)	R	1,0000	
	R Standard Error		
	t		
	p-value		
	H0 (5%)		
Stopa rasta BDP (%)	R	**-0,3088**	1,0000
	R Standard Error	0,1508	
	t	-0,7953	
	p-value	0,4567	
	H0 (5%)	*accepted*	

3. ZAKLJUČAK

Analiza dobijenih vrednosti indikatora istraživačko-razvojnih i delom, visokoobrazovnih perfomansi Republike Srbije u proteklom desetogodišnjem periodu, pokazuje da je, uprkos brojnim problemima ekonomsko-finansijske prirode koji su je objektivno opterećivali i uticali na relativno manja izdvajanja u ovoj oblasti, posebno u odnosu na zemlje članice Evropske unije, srpsko društvo racionalno i relativno efikasno koristilo raspoložive naučnoistraživačke resurse. Relativno visoka prosečna efikasnost, od 95,9%, mogla bi se objasniti činjenicom da je uprkos padu ostvarenih vrednosti većine posmatranih izlaznih veličina, rapidan rast broja naučnih i tehničkih radova u posmatranom period (u 2016.godini čak oko 6500 naučnih radova i publikacija!) u presudnoj meri uticao na performanse I/R sektora. Kritična godina u tom smislu, bila je 2010. Naravno, dobijene rezultate trebalo bi prihvatiti sa određenom rezervom, jer bi se realnija slika dobila kompleksnijom analizom koja bi obuhvatila više faktora, različite pristupe, poređenje sa državama u okruženju, dakle na približno identičnom nivou ekonomskog razvoja, ali i poređenje sa

projektovanim strateškim ciljevima naučnog, tehnološkog i obrazovnog razvoja Republike Srbije u narednom periodu

LITERATURA

[1] Boskin, M.J. Lau, L.J. (1996). Contributions of R&D to economic growth", (in Smith & Barfield Ed., *Technology, R&D and the Economy)*, The Brookings Institute, Washington D.C., 75-104.

[2] EC (2008). Knowledge for growth - European issues and policy challenges Office for official publication of European Communities.

[3] EC (2009). Second European Forum on Cooperation between Higher Education and the Business Community, Forum Report, 5-6 http://ec.europa.eu/education/policies/educ/business/forum09/report.pdf [Accessed 8.02.2012]

[4] Hu,J-L., Yang,C-H., Chen, C-P. (2011). Innovation System: An International Comparison Using the Distance Function Approach. *Bulletin of Economic Research*, 66(1), 55-71.doi: 10.1111/j.1467-8586.2011.00417.x

[5] Lee, H. Y. & Park, Y. T. (2005). An International Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach. *Asian Journal of Technology Innovation*. 13(2), 207-222. doi: 10.1080/19761597.2005.9668614

[6] Lee, H., Park, Y. & Choi, H. (2009). Comparative Evaluation of Performance of National R&D Programs with Heterogeneous Objectives: A DEA Approach. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 847-855. doi:10.1016/j.ejor.2008.06.016

[7] Martić, M., Savić, G. (2001). An application of DEA for Comparative Analysis and Ranking of Regions in Serbia with Regards to Social-Economic Development, *European Journal of Operational Research, 132 ,* 343 - 356.

[8] Rousseau, S., Rousseau, R. (1998). The scientific wealth of european nations: Taking Effectiveness into Account, Scientometrics. 42. 75-87.

[9] Sharma, S. and Thomas, V. J. (2008) Inter-country R&D efficiency analysis: an application of data envelopment analysis, *Scientometrics*, 76(3), 483–501.

[10] Thomas, V. J., Jain, S. K. & Sharma, S. (2009). Analyzing R&D Efficiency in Asia and the OECD: An Application of the Malmquist Productivity Index. In Science and Innovation Policy, 2009 Atlanta Conference on IEEE, 1-10.

[11] Thomas, V., J. Sharma, S. & Jain, S. K. (2011). Using Patents and Publications to Assess R&D Efficiency in the States of the USA. *World Patent Information*, 33(1), 4-10.doi:10.1016/j.wpi.2010.01.005

[12] Wang, E. C. (2007). R&D efficiency and economic performance: a cross-country analysis using the stochastic frontier approach, *Journal of Policy Modelling*, 29(2), 345–360.

Internet izvori
http://data.worldbank.org
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

EU LEVEL SUPPORT PROGRAMMES FOR YOUNG INNOVATORS AND ENTREPRENEURS

LAZAR ŽIVKOVIĆ[1], ĐURO KUTLAČA[2] SANJA POPOVIĆ-PANTIĆ[3]

[1] Institut Mihajlo Pupin, lazar.zivkovic@pupin.rs
[2] Institut Mihajlo Pupin, djuro.kutlaca@pupin.rs
[3] Institut Mihajlo Pupin, sanjap.pantic@pupin.rs

Abstract: *In this study, the main conclusions of the study on EU level best practices on youth support, which is conducted in the framework of NewGenerationSkills project, are presented. The particular interest of this study was to learn what support measures are specific for the youth entrepreneurship across the EU countries. During the study, it became evident that there are many various entrepreneurship support initiatives implemented, while there are few entrepreneurship interventions targeting young people in particular. Presented programmes and projects supporting young (social) innovators and entrepreneurs in EU, highlight the importance of creating policies and measures tailored to the local needs of youth entrepreneurship and local entrepreneurship ecosystem.*

Keywords:*, Entrepreneurship, Youth support programmes, Project NGS*

1. INTRODUCTION

According to EUSDR PA8 socio-economic assessment, most countries of the Danube region are characterised by low innovation performance and by relatively weak innovation and entrepreneurial culture. There is high variation in the youth unemployment rates across the different subregions of the Danube Region. The average youth unemployment rate in the Accession countries was 49 percent between 2006 and 2014, whereas it was only 7 percent in the Germany and Austria (EUSDR PA8, 2015).

The EU Youth Strategy proposes Member States to promote youth employment and entrepreneurship, with particular attention to: Address the concerns of young people in employment strategies; Invest in the skills employers look for; Develop career guidance and counselling services; Promote opportunities to work and train abroad; Support quality internships/apprenticeships; Improve childcare and shared family responsibilities; Encourage entrepreneurship.

Increasing youth employment is central to the EU's employment policy, within the context of the Europe 2020 growth and jobs strategy. Youth entrepreneurship is high on the EU political agenda as a tool to combat youth unemployment and social exclusion as well as stimulating innovation among young people:

- Fostering youth entrepreneurship is one of the objectives of the Europe 2020 strategy and its Youth on the Move flagship initiative;
- Employment and Entrepreneurship are one of the eight fields of action promoted by the EU Youth Strategy (2010-18);
- Entrepreneurship is a key competence in the European Reference Framework on Key Competencies for Lifelong Learning (2006);
- Youth work and non-formal learning play an important role in developing the creative and innovative potential of young people including entrepreneurial skills. Youth policy and programmes at EU and national level support this:
- The EU Youth Strategy Council Resolution on a renewed framework for European cooperation in the youth field (2010-18) includes creativity and entrepreneurship among its eight fields of action.

The importance of youth entrepreneurship is stressed in the Council Conclusions on promoting youth entrepreneurship to foster social inclusion of young people (2014). Special attention is paid to 'social entrepreneurship' that combines a social and entrepreneurial dimension.

An expert group report on Developing the creative and innovative potential of young people through non-formal learning in ways that are relevant to employability (2014) highlights the strong need to ensure educators and employers are more aware of the value of non-formal learning, to improve partnership work and cross-sector innovation, and to enhance the ability of adults working directly with young people.

2. THE ROLE OF NEWGENERATIONSKILLS PROJECT IN CREATING POLICIES AND MEASURES TAILORED TO THE LOCAL YOUTH ENTREPRENEURSHIP ECOSYSTEM.

The NewGeneration Skills (NGS) project is supported by the Interreg Danube Transnational Programme. By joining forces of 12 project partners from 7 countries, project NewGenerationSkills strives to create better economic performance, lower brain drain and positive impact on the quality of the local working/living environment, by developing skills and competences of the local youth and improving innovation management of public administration.

NGS project targets the Public sector with the focus to improve the innovation management framework and to prepare municipalities to implement actions for enabling local youth to better exploit their entrepreneurial potential. Therefore, the main goal is enhancing the capacity building of the public administrations in developing supportive environments for the local innovation ecosystems. This aim requires change of mind-set and improved competences of all relevant actors, i.e.: local youth, companies, education, municipalities and their institutions as facilitators. The project will upgrade existing cooperation mechanisms between quadruple helix actors to create joint local support schemes that will equip local youth with new generation competences and skills. Besides Public sector, project NGS is focused on entrepreneurial skill development of the youth by contributing to shaping a new generation of young people that are creative and can easily adapt to rapidly changing requirements in the world of work. Project will develop Dynamic learning programme and Innovation Lab scheme with main purpose of equipping the youth with the competences, tools and support needed to turn their transformative ideas into ventures. This transferable youth focussed innovation support model achieves in a win-win situation for cooperating actors and ultimately leads to better economic performance, lower brain drain and a positive impact on the quality of the local working/living environment in cities implementing it. In order to enable entrepreneurial learning and coaching for motivated youth and mentoring to facilitate the development of ideas to ventures, project NGS will make a great effort in upgrading helix cooperation among administration, education, companies, the youth and business support organisations/NGOs.

EU level best practices on youth entrepreneurship support and innovative co-working methodologies taken from EU respective academic, business and community building practice elaborated in this study, should serve local municipalities involved in the project to try to use good example from EU in order to enrich their Local action plans and create Local innovation system more efficient.

3. MAIN CHARACTERISTICS OF EU LEVEL SUPPORT SCHEMES TO YOUTH ENTREPRENEURSHIP

The following section presents main characteristics of good practice initiatives set in place by national, regional and local governments, universities and other organisations across EU. All of identified characteristics demonstrate good practice on innovation management across the EU with the focus on young innovators and entrepreneurs. Main identified initiatives are the following: SPAIN – Youth Business Spain; GERMANY - Youth Business Germany; GERMANY: Social Impact; ITALY – Youth Business Italy; THE NETHERLANDS – Qredits; SWEDEN – Swedish Jobs and Society; FRANCE – Planet Adam; GREECE - The Athens Center for Entrepreneurship and Innovation-ACEIN; POLAND: Youth in Łódź Programme; SWEDEN - Chalmers School of Entrepreneurship: matching technology and entrepreneurship; FRANCE: Envie d'agir (Keen to act); IRELAND: Young Social Innovators .

3.1. Descrition and rationale of selected initiatives

Youth Business International (YBI) and Citi Foundation have launched Youth Business Europe, a regional programme to support young people to become entrepreneurs. Youth Business Europe was established in six countries (Spain, Germany, Italy, The Netherlands, Sweden and France) throughout Europe with the aim to provide entrepreneurship training to 5,500 young people and help them to start or develop 1,700 businesses over the two years. The implementation of the programme is supported by the respective Citi offices. The

selected initiatives are founded with the aim of channeling and joining efforts in the fight against unemployment by helping young people start their self-employment projects. It promotes cooperation between local delivery partners, private companies, public administrations and volunteer mentors, in order to enhance entrepreneurship ecosystem, supporting an increasing number of young entrepreneurs. This cooperation includes knowledge sharing and best practices exchange, national partnerships, funding opportunities, technology, awareness and advocacy campaigns, maximizing impact and ensuring sustainability of local delivery partners' activities.

In addition to technological innovation, initiatives that support social innovation and youth social entrepreneurship are becoming more important in the last few years. Social Impact (Germany) provides expert start-up consultancy. To date, several thousand companies have been set up with the support of Social Impact. For several years, Social Impact has focused on supporting social start-ups that use their ideas to solve social challenges in an entrepreneurial way. Social start-ups are given grants that fund up to eight months of professional consultancy, coaching, workshops and co-working workplaces. Social Impact also offers foundation programs for special target groups (migrants, young unemployed people and people with disabilities).

In addition to national and regional support, there is an interesting example of an integrated approach to university entrepreneurship support, that shows how education can be incorporated into start-up support in the form of incubation. The good example for university support is Chalmers School of Entrepreneurship which is an educational platform for entrepreneurship skills and a pre-incubator for early-stage business ideas.

3.2. Beneficiaries of the support programmes

The beneficiaries of the support programs are young people between the ages of 18 and 35 who have entrepreneurial potential and a business idea but do not have access to the necessary resources to get it going. Socially entrepreneurial and community-minded individuals who are trying to improve the social and economic participation of refugees as well as start-ups in the field of social welfare, are supported.

3.3. Services offered to young people

All selected initiatives are organized as a national network of well-established local delivery partners who are responsible for providing support services to young entrepreneurs, a support package combining entrepreneur training, access to finance and volunteer mentoring, adapted to suit local conditions and opportunities. The main services offered to youth are the following:

- *Training*

Support programmes, through the network of local partners offers young people an orientation and technical assistance service that accompanies the young entrepreneurs during their self-employment itinerary until the creation of their own company, guiding them in the definition of their business model and their validation with the market. A training service aimed at developing the entrepreneurial skills of young people and equipping them with the knowledge and tools necessary to successfully manage their new business. The most of training programs are based on methodology "learning by doing" with experiential dynamics in which the participants are the protagonists.

- *Access to finance*

Through its network of local partners, some of the support programmes offer an orientation, accompaniment and mediation service aimed at providing young people with access to the financial resources necessary to start up their business projects. The most used sources of financing are: The capitalization of the unemployment benefit; The microcredit programs of some financial institutions, with which the local delivery partners have collaborative agreements; The crowdfunding, through the agreement between local partners and internet platforms - so that young people can have immediate feedback of their business ideas, access the necessary financing, get new customers and make known their Projects.

The cooperation and commitment of the policy makers and its network of local partners with the financial institutions and the competent public administrations is one of the key factors of the sustainability of the financing lines for entrepreneurs.

- *Mentoring*

Support initiatives offers, through its network of local partners, a mentoring service with the aim of accompanying the young entrepreneurs during the process of setting up and consolidating their business projects. Mentoring is provided by entrepreneurs and experienced professionals who share, as volunteers, their time and experience with the young entrepreneurs who start their first business venture.

Mentoring is based on establishing a space of trust that allows an objective analysis of the challenges facing the new business, strengthening the skills of young entrepreneurs and favoring their personal and professional development from the experience of volunteer mentors. The personalized accompaniment of entrepreneurs and professionals, who have already experienced the creation of a company, their participation as volunteers and the duration of their commitment, at least one year, are the keys to the impact and sustainability of the mentoring programs.

- *Coaching*

Coaches volunteer their knowledge and expertise to provide support, with mutual respect, trust and engagement being key core values. Some of the identified services offered by coaches within support programmes are:

  - *Guidance on business plan*
    The coaches help entrepreneurs to structure their ideas and working out their plan. Entrepreneurs can ask their coach for questions regarding market of product or service, investments, operating budget, funding etc.
  - *Finance and administration*
    In this coaching program, a coach assisting entrepreneurs in building and structuring the cash flows in their companies.
  - *Marketing and sales*
    This coaching program focuses on the effective deployment of marketing and sales tools to increase entrepreneurs' sales.

- *Online tools*

Some of the support schemes have several online tools that can be very useful to entrepreneurs. The following tools have been specifically designed to help entrepreneurs successfully start or expand their business.

- *Educational programs*

The purpose of identified educational programs is to make students aware of entrepreneurship at an early stage.

4. CONCLUSION

Since that particular challenges facing youth entrepreneurship, more specific measures are required. Various examples of good practices encourage the search for innovative methods in supporting youth (social) entrepreneurship. The framework is needed to enhance the role of mentors, coaches, and trainers. Investment is needed in teaching and learning because the competence of youth workers is crucial if quality methods and tools are to be deployed. A common understanding must be built among all stakeholders, as only this can deliver the broad cross-sectoral cooperation and integrated approaches that will answer the unmet needs of young people.

This study showcases many concrete examples which can inspire policy making and help solve identified problems when adapted to the national context. In addition to good practices supporting youth entrepreneurship, initiatives/programmes that support social start-ups that use their ideas to solve social challenges in an entrepreneurial way are also elaborated. A summarized list of existing support initiatives for entrepreneurs shows that there are a lot of support possibilities available. By examining EU level best practices on the youth (social) entrepreneurship, the general opinion is that there is not one specific model

applicable, therefore various activities in different innovative forms can greatly facilitate youth entrepreneurship. However, the most common features of presented best practices are following:
Beneficiaries. Main beneficiaries in identified support schemes are young people and students who want to start their self-employment projects. In addition to classical entrepreneurship, young people who are starting their own company with a socially innovative idea and the socially disadvantaged groups are also target groups in presented support programs.

- Governance process. Whether the support scheme is founded by the state or it is a non-profit private organization or some other legal form, involvement and commitment of key local players is essential to ensure the sustainability of action. All important players identified in presented best practices include four main groups:
    - local delivery partners
    - private companies
    - public administrations and
    - mentors/ coaches

In order to create sustainability of youth (social) entrepreneurship support programmes, commitment and strong cooperation of local delivery partners is very important. This cooperation includes maximizing impact of local delivery partners' activities. Local delivery partners are responsible for providing support services to young entrepreneurs, disseminating the activities of support schemes, informing potential participants about programs, making recommendations, establishing contacts with sponsors, contributing professionally.

Mentors and coaches act on a voluntary basis and help young entrepreneurs not only to build a sustainable company but also to develop on a personal level. Mentoring is provided by entrepreneurs and experienced professionals.

- Service package. Identified services are adapted to suit local conditions and opportunities and could be classified into four categories:
    - education,
    - entrepreneur training
    - access to finance
    - co-working and networking space
    - mentoring and coaching

Support schemes offers services which include intensive labs for start-ups where co-working and networking space is combined with social activities. In addition, networking events between young and experienced business people, education programmes aiming to create an entrepreneurial and innovative mind-set are offered. Other examples include the development of wide networks of young business people and experts, online social media tools and specific micro financing programmes providing young people with access to the financial resources necessary to start up their business.

- Specific EU role. EU has several important roles and tasks in area of entrepreneurships and innovation among young generations, ensuring the following:
    - Legal framework: creation of minimum requirements EU Member States have to respect in order to secure rights of young generations to work and realise their potentials and capacities;
    - Initiative: launching of the joint programmes and projects as financial and managerial support for realisation of entrepreneurial and innovative ideas;
    - Promotion: raising awareness of the need and importance for entrepreneurship and innovation among young generations;
    - Diffusion: spreading best practices throughout EU;
    - Coordination: harmonising local and national legislations, programmes and initiatives into EU common policy for support of entrepreneurship and innovation of youth in Europe.

The key issues raised by this study could be summarised into the following recommendations for national and/or EU level policy related to entrepreneurship and innovation of youth in EU:

- Introducing / improving statistics on innovative and entrepreneurial youth:
    - Data relating to size (self-employment, or small/medium sized company) and scope (sector of economic activity, geographical presence of activities, financial indicators of performance, etc.) of activities of the companies established by the young people in observed year/period (data broken by the age, gender and educational attainment level);
    - Data and information collected within regular Innovation surveys, extracted for age, gender and educational attainment level which includes all young generations;

- Data and information related to financial schemes, programmes and instruments generated to promote entrepreneurial and innovation activities of young generations (data broken by the age, gender and educational attainment level of young people covered by these schemes, programmes and instruments).
- Official statistics on social enterprises are scarce and limited in scope: data are usually available on the number of legally recognised social enterprises (where these exist), but they do not cover the de-facto range of social enterprises.

- Permanent follow-up on issues of entrepreneurial and innovation activities of young generations. It is necessary periodically to launch surveys addressed to specific aspects of (social) entrepreneurial and (social) innovation activities of young generations: needs and obstacles, barriers and influences, outcomes and failures, wishes and opportunities of youth in EU Member States.
- Intensification of national and EU level support for entrepreneurial and innovation activities of young generations. It is necessary to invest more efforts in order to create, finance and advocate different approaches, measures and instruments for support of youth in Europe in area of entrepreneurship, social entrepreneurship and (social) innovation:
  - Promotion: Promotion of social entrepreneurial and innovation activities of young generations is crucial for change of mind, raising awareness and stressing the importance of uncertain position of youth in nowadays Europe. Promotion activities could be not only dissemination of the information, but also they could be mixed with financial incentives, specific projects etc.
  - Financial support: Financial support is most needed, most influential and most effective instrument, but cannot be successful if there are not ideas, projects and ambitious participants.
  - Infrastructure: Infrastructure for support of (social) entrepreneurial and innovation activities could be buildings – space for realisation of such activities, but also could be internet and computer networks, other sorts of social networks – all what can offer possibility to young people to gather and work together.
  - Projects / programmes: Type and content of projects will always depend on creativity and imagination of the involved participants. Therefore, young people should be in position to express their ideas, wishes and needs, and in cooperation with experienced consultants these, usually fuzzy talks, could be transferred into effective and efficient projects.

Acknowledgement

Research presented in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the two projects: "Research and Development of the Platform for Science Based Management of the Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia", reg. no. III 47005 and project “NewGenerationSkills” financed under Danube Transnational Programme.

REFERENCES

[1] EUSDR PA8 (2015), Socio-Economic Assessment of the Danube Region: State of the Region, Challenges and Strategy Development, Final report part II

[2] EU Youth Strategy, http://ec.europa.eu/youth/policy/youth-strategy_en

[3] European Commission (2009), An EU Strategy for Youth – Investing and Empowering. A renewed open method of coordination to address youth challenges and opportunities, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0200:FIN:EN:PDF

[4] European Commission (2015), Quality Youth Work: A common framework for the further development of youth work, Report from the Expert Group on Youth Work Quality Systems in the EU Member States, http://ec.europa.eu/assets/eac/youth/library/reports/quality-youth-work_en.pdf

[5] European Commission (2014), Developing the creative and innovative potential of young people through non-formal learning in ways that are relevant to employability, Expert Group Report, http://ec.europa.eu/assets/eac/youth/news/2014/documents/report-creative-potential_en.pdf

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

FOSTERING COOPERATION BETWEEN TRIPLE HELIX INSTITUTIONS IN THE DANUBE REGION

DUŠICA SEMENČENKO[1], DIJANA ŠTRBAC[2], ĐURO KUTLAČA[3]

[1] Institut Mihajlo Pupin, dusica.semencenko@pupin.rs
[2] Institut Mihajlo Pupin, dijana.strbac@pupin.rs
[3] Institut Mihajlo Pupin, djuro.kutlaca@pupin.rs

Abstract: *The paper presents points of international project EDU-LAB which is funded by the European Union aiming to improve the professional chances of young people in the Danube region. The project focuses on capacity development of partners from the higher education sector, business organizations, national public authorities and policy makers. Project partners will cooperate with the ultimate goal to link education to employment in a sustainable way. This paper is presenting general conclusions of the Collection of best practices regarding the labour market relevance of higher education in the Danube Region.*

Keywords: *Triple helix, cooperation, higher education, labour market.*

1. INTRODUCTION

Introducing knowledge society as an aim to which countries should strive, has led to a shift of the focus of studying innovation sources. Instead of institutional aspect, the emphasis is put on communication between different sectors as a way to create knowledge and social interactions. Changing the approach has brought the creation of new models of innovation development. In Triple helix innovation model, government, universities and industry represent three components that work together in order to create or discover new knowledge, technologies, products or services. The concept of a Triple helix was introduced by Etzkowitz and Leydesdorff in 1995 (Etzkowitz & Leydesdorff, 1995). Idea of the model is that in the process of transition towards knowledge economy, universities, businesses and government are in alternating bilateral and trilateral relations and dynamic communication. Triple helix model has the aim to show the complexity of the innovation process as a system on which knowledge society is based.

The Danube region (DR) is much diversified: starting from the countries' level of economic development and political status regarding EU, up to the often different and contradictory observations of the region in the context of education, research and development systems' excellence and cohesion. The aim at research of this paper is to clarify the relationship between all three sectors of the Triple helix – Business, Education, Politics/Administration from the Danube region towards cooperation in increasing the labour market relevance of higher education.

The territorial limitations could be one of the consequences for better exchange of knowledge, and migration of highly educated people, as it was shown in earlier research done in the Danube region. Chosen indicators were fairly enough for making a picture of the current situation of international cooperation in the region, as well as barriers which make obstacles in stronger cooperation achievements. This conclusion is grounded on the research done in the frame of the FP7 project Danube-INCO.NET, where authors have also been team members.

Since the research has shown that the most significant obstacles to the cooperation of researchers within the Danube region (and beyond) are those related to: overall capacity of the country; administrative and bureaucratic procedures in the application process, implementation, and reporting on the international projects; and socio-political conditions in the country, the specific recommendations were derived.

Barriers regarding overall capacity of the country are the most important barriers in international RTDI cooperation among the Danube region countries. Strong recommendation to the S&T policy makers in the countries of Danube region is to increase investments in science and technology and particularly increase financial support for international cooperation from public sources. In enlargement countries, governments should harmonize the laws and science programs with European Union (EU). Aligning national strategies is a crucial point in order to improve the cooperation in the Danube region.

Following the findings based on the analysis of administrative and bureaucratic barriers, recommendations for S&T policy makers in DR countries are:

- to establish efficient processes for programs and projects evaluation.
- to reduce the quantity of projects' documentation.
- to speed-up evaluation procedures and to shorten the time needed for contracts.
- to standardize procedures for project submission and monitoring.
- to secure forehand / on time payment by funding organizations, reducing delays.

Socio-political barriers are not so important to the international cooperation at the whole sample of the Danube region countries. As the main obstacle, an inferior position of research and innovation compared to the economic development and political stability was emphasized. Accordingly, it can be concluded that in order to improve international cooperation, the greater concentration of resources on research and development in the Danube region is needed.

2. NEW DANUBIAN GOVERNANCE IN LABOUR MARKET RELEVANCE OF HIGHER EDUCATION

Continuation and deeper insight in the triple helix model of the DR countries and challenges of the Education and Business sector cooperation will be possible within the project New Danubian Governance in Labour Market Relevance of Higher Education. The project EDU-LAB is gathering researchers from 21 partner organizations, belonging to 9 DR countries of which 8 were engaged in collecting of best practices: Bulgaria, Bosnia and Herzegovina, Germany, Hungary, Romania, Serbia, Slovenia, and Slovakia. One of the preconditions for the region definition is classification of countries/regions of the Danube region, according to geopolitical affiliation: EU member states (MS) and regions upstream of the Danube: Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovakia, Slovenia, Germany – in particular Baden-Württemberg and Bavaria; EU MS and regions downstream of the Danube: Bulgaria, Romania; Enlargement countries: Bosnia and Herzegovina, Serbia.

In the selected Danube Region countries, existing governance models regarding labour market relevance of higher education, very much depend on the complexity of country organisation and include various government bodies, laws and bylaws responsible for this area. Also, national legislation in the field of higher education is very influenced by EU policy and regulations. Certain countries have also developed National strategies for higher education which include priorities that should be fulfilled in certain period. There are strong thematic linkages between this output and European Union Strategy for the Danube Region (EUSDR), especially Priority Area 9. The output is contributing to the following PA9 targets:

- Contribution to improved educational outcomes and relevant skills and competences in the Danube Region, focusing on learning outcomes for employability, entrepreneurship, innovation, active citizenship and well-being,
- Contribution to increased quality and efficiency of education, training and labour market systems,
- Contribution to a closer cooperation between educational, training, labour market and research institutions, in particular on transnational, regional and bilateral levels.

Therefore, specific objectives of EDU-LAB project are:

- Enhance cooperation between business, HE and public authorities
- Encourage the further development of Higher Education Acts
- Foster the creation of more professionally-oriented study programmes.

3. ANALYSIS OF BEST PRACTICES

One of the starting points in definition of the possible and desirable triple helix model which can gather DR countries around above mentioned targets fulfilment is Collection of best practices in a several fields of interest. Collection of best practices contains four main sections:

- Encouraging the further development of Higher Education Acts,
- Fostering the creation of more professionally-oriented study programmes,
- Enhancing professional training (train the trainers) in companies,
- Strengthening the regional economic development.

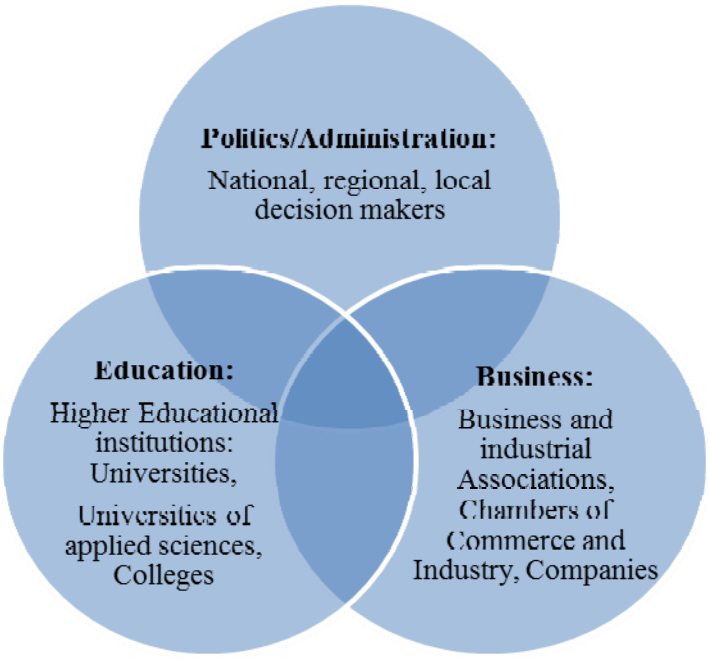


Figure 1: Main target groups of EDU-LAB project

Main sections of the document "Collection of best practices" include cooperation between Triple helix institutions which are at the same time main target groups of EDU-LAB project (Figure 1).

3.1 Encouraging the further development of higher education acts

In the selected Danube Region countries, existing governance models regarding labour market relevance of higher education, very much depend on the complexity of country organisation and include various government bodies, laws and bylaws responsible for this area. Also, national legislation in the field of higher education is very influenced by EU policy and regulations. Certain countries have also developed National strategies for higher education which include priorities that should be fulfilled in certain period. More information about specific countries can be found in chapters below.

Presented activities of selected countries prove that labour market relevance of higher education has been recognised as very important in developing higher education acts, as well as in other activities such as projects, programs, establishing centres for career development, including companies in developing educational curricula, etc. When it comes to financial resources used for these purposes, European funds and national resources are used parallel. It is also visible from the chapters below that only Germany and Hungary have distinction between Universities and Universities of applied sciences where the latter ones are based on practice-oriented education.

3.2 Fostering the creation of more professionally-oriented study programmes

Creating professionally-oriented curricula in higher education has the aim to establish direct link between university graduates and labour market needs which will result in providing well trained staff and competitive advantage on macro level. Selected Danube Region countries have various attempts to give contribution in this field. Germany and Hungary already have universities of applied sciences (Figure 2), while other countries are having various activities in order to improve the situation. Some of those activities are: creating national agencies responsible for professional education and training, including lifelong learning principles, obligatory internships for university students, various programs of career development centers, etc.

The range of best practice measures applied in selected countries with the aim to create more professionally-oriented study programmes is very broad: funding student practices and internships in

companies and various organisations, e-learning programs for English teachers, team work of students on real business problems, MBA programs, Cisco Networking Academy program, etc.

Figure 2: Dual study programs at universities of applied sciences in Germany

3.3 Enhancing professional training (train the trainers) in companies

Triple helix model assumes that all academia, policy makers and businesses are dynamically interconnected and interdependent and actively participate in innovation and knowledge creation and that all three stakeholders benefit from this cooperation. This is one of the most challenging tasks of the developing countries and trainings provided by HE institutions to companies are integral part of this process. Danube region countries have different approaches in this respect.

Unlike Germany in which cooperation between HE institutions and companies has long tradition and is built is institutions and legislation, other selected counties have various initiatives in this field. Some of the initiatives are: e-learning courses and distance learning, cooperation with individual companies and clusters, creating joint master programs, summer schools, student competitions, etc.

3.4 Strengthening the regional economic development

Transnational cooperation supported by the concept of the Smart Specialization contributes to improvements of global competitiveness and creation of economy based on knowledge. Smart Specialization assumes developing a vision and strategy including competitive advantages to help boost development of excellence and region´s potentials based on knowledge and create conditions to use regional diversity as advantage. S3 means identifying region´s potentials and strengths as basis for competitive advantage (smart), further develop the strengths and potentials through research and innovation (specialization) and prioritise investments in research and innovations (strategic). Bosnia and Herzegovina as non-EU countries still did not developed S3 strategy on a national level, while other selected countries have national S3 strategies and the level of including of HE in this is different.

Creating educational programs in accordance with the needs of specific economy sectors and in cooperation with various stakeholders is present in all selected countries. However, the sustainability of these programs is different and mainly is depending on the strength of the economy.

4. CONCLUSION

As a consequence of economic crises, fragile labour markets, structural problems, economic and demographic inequalities are still apparent challenges in the Danube region. Several projects within Danube region transnational cooperation are dealing with different aspects of national innovation systems presented here as a triple helix concept. Some of them already yield results which make a synergy with activities of ongoing projects.

Exchange of good practices provides relevant inputs for achieving EDU-LAB project main and specific objectives by giving collected best practices in the labour market relevance of higher education, fostering cooperation by various stakeholders and giving important contribution to further development HE acts and professionally oriented educational programmes.

Exchange of good practices will strengthen institutional capacities and multilevel, transnational and intersectoral governance. It will provide viable frameworks and models for more effective, wider and deeper

transnational cooperation across the region with a view, on the long run, to retain more young talents in the Danube region.

The output will have a transnational impact since it will act as a policy driver aiming to tackle the common challenges and needs deriving from specific policy fields. Therefore, transnational cooperation is expected to deliver tangible results through the development and practical implementation of policy frameworks, tools and services.

A joint transnational learning process which started a couple of years ago, will enable the improvement of institutional capacity and will bring an added value for all partners in this specific field of cooperation.

Acknowledgement

Research presented in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technology Development of the Republic of Serbia, under the projects: "New technologies in intelligent transportation systems - application in urban and suburban areas", reg. no. TR 36005, (2011-2015); "Research and Development of the Platform for Science Based Management of the Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia", reg. no. III 47005, (2011-2017), and by the Interreg DTP project EDU-LAB - New Danubian Governance in Labour Market Relevance of Higher Education.

REFERENCES

[1] H. Etzkowitz, L. Leydesdorff: *The Triple Helix University-Industry-Government Relations: a Laboratory for Knowledge-Based Economic Development*, EASST Review, Vol. 14(1), pp. 14-19, 1995.

[2] F., Simon, J., Wagner, I., Zupan, I. (2015). Copublication and co-patenting analysis among countries in the Danube Region (Deliverable D4.16) Retrieved from https://www.zsi.at/object/publication/3743/attach/D4-16_Copublication_and_co-patenting_analysis_among_countries_in_the_Danube_Region_27-04 2015_updated_15-05-2015-1.pdf

[3] European Union Strategy for Danube Region (2010). Communication from the Commission to the European

[4] Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 08/12/20010 COM(2010) 715. Retrieved from http://www.danube-region.eu/component/edocman/communication-of-the-commission-eusdr-pdf

[5] Filus, I., Vrátny, Š., Kučera J. (2015). Analysis of research and innovation projects in the region and transferability of results. Retrieved from https://danube-inco.net/object/document/15279/attach/D4 15_Analysis_of_research_and_innovation_projects_in_teh_region_and_transferability_of_results_final.pdf

[6] Frame, J. D., Carpenter, M. P. (1979). International research collaboration, Social Studies of Science, 9,(p.481-497).

[7] Kutlača, Đ., Semenčenko, D., Živković, L., Štrbac, D. (2015). Study on cooperation barriers in the Danube Region, Retrieved from https://danube inco.net/object/document/15392/attach/ Deliverable_4_17_Barriers_to_cooperation_in_the_Danube Region_final.pdf

[8] Kutlača, Đ., Semenčenko, D. (2015). Nacionalni inovacioni sistem u Srbiji: prošlost, sadašnjost, budućnost, Beograd. www.pupin.rs/cirnt/wp-content/uploads/2012/12/NIS2-P1-color.pdf

[9] Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Concerning the added value of macro-regional strategies. (2013), Brussels, 27.6.2013 COM(2013) 468 final. Retrieved from http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/communic/baltic/com_added_value_macro_region_strategy_en.pdf

[10] Semenčenko, D., Kutlača, Đ., Štrbac, D., Živković, L. (2013, September). Kako pratititi razvoj nacionalnog inovacionog sistema – indikatori uspostavljanja trostrukog heliksa u Srbiji. Paper presented at the *20th conference „Technology, Culture and Development", (p 40-52)*

[11] Švarc, J., Lažnjak, J., Poljanec-Borić, S., Blečić, E., Perković, J. (2009). Barriers in research cooperation ofWBC countries, WBC-INCO.NET deliverable 3.16, Zagreb. http://wbcinco.net/object/document/7116/attach/WBC_Research_barrieres_FINAL.pdf https://danube-inco.net/object/document/15279/attach/D4

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

INVENTOLOGIJA I TRŽIŠTE

INVENTOLOGY AND MARKET

DUŠAN RAJIĆ[1], OBRAD ČABARKAPA[2], NEGOVAN IVANKOVIĆ[3]
[1] Inovacioni centar Tehnološko - metalurškog fakulteta, Univerzitet u Beogradu, Beograd, rajic.dusan1@gmail.com
[2] Fakultet za primenjeni menadžment, ekonomiju i finansije u Beogradu, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Beograd, obrad.cabarkapa@gmail.com
[3]Vojna akademija, Univerzitet odbrane, Beograd, negovan.ivankovic@gmail.com

---

Rezime: *U radu je definisana inventologija kao nauka o stvaranju inovacija s visokim tržišnim potencijalom. Radi se o inovacijama koje poseduju inkorporiranu visoku ljudsku inventivnost, od trećeg do petog nivoa, a zasnovane su na primeni Teorije rešavanja inventivnih zadataka (TRIZ). Vladine agencije i komercijalne kompanije koriste kriterijum nivoa tehnološke spremnosti (Technology Readiness Levels, TRL) kako bi procenile da li su i na kom nivou inovacije spremne i primenljive za korišćenje. U radu je objašnjen inovacioni menadžment proces koji obuhvata dve faze - stratešku i izvršnu.*

Ključne reči: *inventologija, TRIZ, inovacije, nauka, tržište*

Abstract: *This paper defines inventology as the science of creating innovations with a high market potential. These innovations contain high levels of human inventiveness incorporated in them (from level three to five), and they are based on TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) application. Government agencies and comercial companies use the criteria of TRL (Technology Readiness Levels) in order to evaluate if the innovations are ready and at what level they are ready to be applied. This paper explains the innovative management process which comprises two phases: strategic and executive.*

Key words: *inventology, TRIZ, innovations, science, market*

1. UVOD

U današnjem društvu znanja skoro da ne postoji nijedan proizvod, a da nije nečija intelektualna svojina. Ona se klasifikuje u dve grupe [Rajić *et al*. 2016, Бесаровић 2000]: (1) industrijska svojina i (2) autorska i srodna prava. U domaćoj zakonskoj regulativi [Anonimus 2010] i u stručnoj literaturi [Rajić *et al*. 2016, Koldžin 2012] se pominju terminološki slični, a suštinski različiti pojmovi invencije i inovacije kao vrste industrijske svojine. ***Invencija*** je koncept, ideja i metod za dobijanje novog proizvoda ili procesa, uključujući otkrivanje nove tehnologije (proizvoda ili procesa) za iskorišćavanje prirodnih resursa. ***Inovacija*** je uspešna tržišna primena invencije, odnosno primena novog ili značajno poboljšanog proizvoda, procesa ili usluge (uključuje značajna poboljšanja tehničkih karakteristika, komponenti i materijala, ugrađenog softvera, korisničke orjentisanosti ili drugih funkcionalnih karakteristika) ili marketinške metode ili nove organizacione metode u poslovanju, organizaciji rada ili odnosima pravnog lica sa okruženjem. Oko 90% svetskih kompanija smatra da inovacije imaju strateški prioritet u njihovom poslovanju, jer se pomoću njih ostvaruje najbrži rast [Rajić *et al*. 2016].

S razvojem društva, potreba za pronalazačkim (inovacionim) rešenjima različitih vrsta problema ubrzano je rasla. Da bi zadovoljio tu rastuću društvenu potrebu, ali i lične ambicije, Edison (Thomas Alva Edison, 1847-1931) je prvi došao na ideju kako da pronalazaštvo organizuje kao proizvodni proces na traci [Иванов 1999]. Posle su učinjeni pokušaji uopštavanja znanja o tome kako pronalaziti, objedinjavanjem potrebnih navika i veština. Na zapadu su se pojavile prve kreatološke metode: sinektika, brejnstorming (engl. *brainstorming,* srp. moždana oluja ili oluja mišljenja), morfološka analiza i dr., s ciljem da ljudima olakšaju rešavanje različitih problema, među kojima i inovacionih. Istovremeno su svi opisi tehničkih rešenja (informacione jedinice patentnih baza) standardizovani tako da imaju istu strukturu, što je olakšalo njihovu analizu. Sve je to doprinelo da stvaralaštvo u inovacionoj delatnosti sve više da liči na metodologiju naučne delatnosti, uz zadržavanje određenih specifičnosti.

Ipak, najveći pojedinačni prodor u naučnom prilazu inovacionoj delatnosti napravio je Henrih Saulovič Altšuler (Генрих Саулович Альтшуллер, 1926 - 1998) između 60-ih i 80-ih godina XX veka [Rajić *et al*. 2016]. On je proanalizirao raspoloživu patentnu bazu podataka otkrivši pri tome zajedničke principe kojima su se rukovodili pronalazači u dobijanju različitih ideja. Proučivši skoro pola miliona patenata, uočio je osnovne zakonitosti koje opisuju bilo koji pronalazak. Altšuler je zaključio da u svim patentima postoji oko 1.500 tehničkih kontradikcija, koje se mogu relativno lako razrešiti pomoću određenih tipskih metoda. Altšuler je smatrao da ne treba polaziti od toga šta se dešava u ljudskoj glavi, već se treba usresrediti na rezultate delatnosti celog čovečanstva, ka svetskoj datoteci patenata. Analizom patentnih baza podataka on je došao do još jednog važnog otkrića - jedinstvenih pravaca razvoja najraznovrsnijih klasa tehnike. Na toj osnovi bili su formulisani zakoni razvoja ili evolucije tehničkih sistema (TS). Time su bile stvorene teorijske osnove naučne inovacione delatnosti - inventologije.
Cilj ovog rada je da prikaže značaj inventologije za privredne subjekte u odnosu na njihove tržišne uslove poslovanja.

2. OSNOVNE ALATKE INVENTOLOGIJE

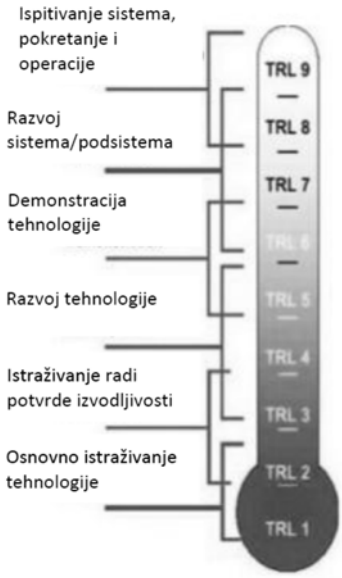
Teorijske osnove i metode inovacione delatnosti Altšuler je objedinio u kompleks poznat pod nazivom Teorija Rešavanja Inventivnih Zadataka (TRIZ), koji je predstavljao početak inventologije kao nauke o inovativnosti. Kompleks je obuhvatao zakone razvoja tehničkih sistema, informacioni fond, analizu supstanci i polja tehničkog sistema (tzv. supoljna analiza), algoritam rešavanja inventivnih zadataka (ARIZ) i metode razvoja kreativne imaginacije [Rajić *et al*. 2016] (sl. 1). On je proučavanjem pronalazaka identifikovao 39 standardnih parametara bilo kojeg tehničkog sistema i 40 zajedničkih inventivnih principa za rešavanje bilo koje kontradikcije u pronalascima. Od 90-ih godina XX veka, nakon raspada SSSR, TRIZ je postao dostupan i zapadnim zemljama, pri čemu je doživeo svoj dalji procvat, modifikacije i unapređenja, kao i primenu u skoro svim oblastima ljudskog stvaralaštva.

Slika 1: Alatke TRIZ-a koje se koriste za rešavanje problema

S pojavom TRIZ-a u SAD, njegove tehnike i baze podataka (prvobitno razvijene u Rusiji) su korišćene kao osnova za izradu inovacionih softvera. Ovo je predstavljalo rađanje novog polja tehničkog inženjeringa – stvaranje inovacija uz pomoć kompjutera (IPK) [Livotov and Petrov 2013]. IPK softver ubrzava inovacioni rad i osigurava kvalitet mogućih rešenja. Štaviše, ovaj softver organizuje inovaciju kao proces koji se moše kontrolisati, čineći time uspeh inovacije predvidljivim i ponovljivim. Tako npr. TriS-IDEAS softver pomaže kompanijama s najboljom praksom inovativnih metoda, počev od poznavanja zahteva klijenata, preko ocene konkurencije, do sistematskog skupljanja ideja pomoću TRIZ-a i kroz odabir najboljih inovacionih koncepata [Livotov and Petrov 2013]. Softver neprekidno dokumentuje preduzete korake i dobijene rezultate u inovacionom procesu uključujući sve relevantne podatke kao što su beneficije klijenata, podaci o konkurenciji, problemi, rizici, novonastale ideje, inovacioni koncepti itd. Postoje tehnički i psihološki aspekti pomoću kojih se ostvaruju prednosti i iskorišćava potencijal uspešne primene TRIZ metodologije i IPK-a. Međutim, veliki broj korisnika smatra da je TRIZ suviše kompleksna metodologija da bi se uspešno uvela kao paralela uobičajenom poslovanju i svakodnevnom radu. Zato sistematska podrška stručnjaka u polju primene TRIZ metoda može biti od velike pomoći u početnoj fazi. Ta pomoć s jedne strane pomaže u integrisanju TRIZ tehnika u radne procese preduzeća, a s druge gradi kompetetivnost unutar kompanije kroz obuke timova od strane TRIZ stručnjaka. TRIZ kao složena inovaciona tehnologija pomaže rast interne platforme za inovacije i menadžment kvaliteta u kompanijama. S dinamičkim rastom globalne konkurencije, brza implementacija TRIZ-a ne samo da može da osveži i ojača kompaniju, nego može i da je spase.

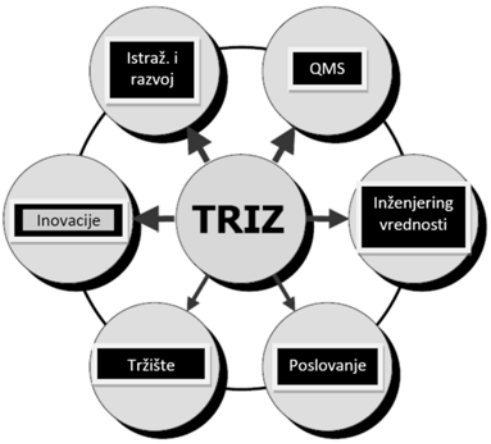
Posle Altšulerove smrti niz autora je radio na modifikacijama i unapređenju pojedinih TRIZ-ovih alatki. Tako danas postoje algoritmi koje su razvili drugi autori poput Podkatilina (rus. A. V. Podkatilin), pod nazivom Tehnologija efikasnih rešenja - TER (rus. Tehnologii эffektivnыh rešenій - TЭR). Ivanov (rus. G. I. Ivanov) je razvio Algoritam rešavanja inženjerskih problema - ARIP (rus. Algoritm rešenія inženernыh problem - ARIP-2009PT). U Izraelu je Horovic (engl. Roni Horowitz) sa saradnicima razvio Sistemsko inventivno razmišljanje - SIT (Systematic Inventive Thinking ili Structured Inventive Thinking) [Иванов 1999]. Godine 1995. Sikafus (engl. Ed Sickafus) je za potrebe Ford Motor Co. adaptirao SIT i razvio Objedinjeno strukturno inventivno razmišljanje - USIT (Unified Structured Inventive Thinking) itd. Svi navedeni algoritmi namenjeni su za rešavanje najsložnijih tehničko-tehnoloških problema, a urađeni su kao modifikacija najpoznatijeg Altšulerovog Algoritma Rešavanja Inventivnih Zadataka (ARIZ85V) [Rajić 2017]. TRIZ je danas međunarodno priznata ruska skraćenica za teoriju rešavanja inventivnih zadataka (skraćenica na engl. TIPS). Tokom 90-ih godina XX veka TRIZ tehnologija je u SAD postala veoma popularna i danas se koristi od strane poznatih kompanija kao što su General Motors, Johnson & Johnson, Ford motors, Lockheed, Motorola, Procter & Gamble, Rockwell Int., Xerox itd. TRIZ je našao uporište i u brojnim nemačkim kompanijama poput BMW, Bosch, Daimler, Hilti, Siemens, Volkswagen i mnogih drugih [Livotov and Petrov 2013].

Za uspeh inovacije na tržištu nije dovoljno da je samo rešen prethodno nerešiv tehnički problem, za koji je potom dobijena patentna zaštita. Vladine agencije i komercijalne kompanije koriste kriterijum nivoa tehnološke spremnosti (Technology Readiness Levels, TRL) kako bi procenile da li su proizvodi i tehnologije u razvoju spremne i primenljive za korišćenje. One ukazuju na to da li je tehnički sistem još uvek u fazi istraživanja, da li postoji prototip ili se sistem uveliko koristi. Nivoi tehnološke spremnosti mogu ići od TRL1 za fundamentalni koncept, do TRL9 koji se odnosi na proizvod koji je spreman za tržište (sl. 2) [Rajić 2017]. Mnogi istraživači sa univerziteta uglavnom su na operativnim nivoima TRL3 i TRL4 (istraživanje i operativnost na laboratorijskom nivou). Istraživanje je u stvari dovođenje tehnologije ili koncepta na sledeći, viši nivo. Ukoliko je istraživač na nivou TRL4, tada će morati da ima partnera koji ima mogućnost operativnosti na nivou TRL5 (validacija tehnologije u relevantnom okruženju). Slično važi npr. i za istraživača koji je na nivou TRL5, jer on mora imati partnera na nivou TRL6 (demonstracija u relevantnom okruženju). To znači da u projektu treba da budu dva tipa partnera: partneri koji mogu da omoguće „uticaj“, odnosno da rezultate podignu na sledeći nivo TRL i partnere iz nauke koji sprovode istraživanja. Samo dovođenje novog koncepta na tržište je jako spor proces od TRL1 pa sve do TRL9. Istraživanja finansirana iz javnih, odnosno budžetskih, sredstava su često limitirana dostizanjem nivoa TRL7. Nakon toga je obično potrebno i finansiranje od strane privatnog sektora kako bi se kompletirao proces i doveo do nivoa TRL9.



Slika 2: Nivoi tehnološke spremnosti pronalaska

TRIZ kao kičma inventologije je bio primoran da proširi obim svog delovanja na sledeće oblasti: ekspertize u menadžmentu ili upravljanju inovacijama, istraživanje i razvoj, upravljanje kvalitetom, inženjering, biznis i marketing inovacija (sl. 3) [Livotov and Petrov 2013].



Slika 3: Polje primene TRIZ-a kao glavnog instrumenta inventologije

Inovacioni menadžment proces obuhvata dve faze - stratešku i izvršnu (operativnu). Strateška faza je krucijalna za formulisanje odlučujućih faktora za uspeh inovacije i obezbeđuje osnovu za sistematsko izvršenje inovacionog procesa okrenutom ka klijentu. U tom procesu pomaže ako se identifikuju zahtevi tržišta i beneficije za klijente, koji se potom pretvore u merljive faktore učinka i usput oceni konkurencija. Zatim strateški proizvod ili uslužne inovacije s boljim tržišnim uspehom mogu da se sistematski razvijaju, što će zauzvrat garantovati značajan porast profita i jedinstvenu poziciju na tržištu.

Izvršna faza inovacionog procesa prati stratešku fazu nakon izbora seta beneficija kao inovacione strategije za klijente. Izvršna faza podrazumeva detaljno definisanje zadataka i inventivnih problema koji se moraju rešiti, sistematsko skupljanje ideja korišćenjem TRIZ-ovih inventivnih alatki, procenu ideja, stvaranje i ocenu inovacionih koncepata. Ova faza završava se odabirom optimalnog inovacionog koncepta za dalji dizajnerski rad i primenu.

U okviru strateške faze razvoj koncepta novog proizvoda počinje analizom inicijalne situacije i jasno organizovanim dokumentovanjem svih poznatih zahteva. Sledeći korak je definisanje svih primarnih sistemskih funkcija i osnovnih komponenti sistema s njihovim korisnim pozitivnim funkcijama i neželjenim negativnom odlikama. Zatim se mogu preformulisati budući inovacioni zadaci i beneficije koje žele klijenti, pojačavanje pozitivnih funkcija i eliminisanje negativnih. Definisanje beneficija koje žele klijenti predstavlja centralni deo strateške faze. Zbog toga je jako bitno da se identifikuju svi kriterijumi koje klijenti koriste u proceni vrednosti, njihovi pravi zahtevi i često neizgovorene potrebe koji su nezavisni od trenutno poznatih tehničkih rešenja. Ovakvo inovaciono planiranje zasnovano na beneficijama tj. koristi, spada u najbolje prakse u okviru inovacionog menadžmenta u poslednjih nekoliko godina. Beneficije mogu biti identifikovane, recimo, intervjuisanjem reprezentativnog broja klijenata za svaki korisnički set. Intervjuisanje klijenata je zasnovano na dobijanju odgovara na sledeća pitanja:

1. Šta kupac zaista misli i šta mu zaista treba?
2. Koje prednosti i nedostatke imaju klijenti?
3. Koje kriterijume koriste klijenti za procenu vrednosti? itd.

Definisanje i finalno formulisanje beneficija klijenata zasniva se na analizi sistema koja se vrši u najranijoj fazi uzimajući u obzir sledeće odlike:

a) Beneficije su nezavisne od tehničkih rešenja i stoga predstavljaju prave potrebe klijenata (npr. „minimiziranje vremena spajanja dva električna kabla“ je beneficija za klijenta koja se može sprovesti uz pomoć konektora, kutije za kablove i drugih rešenja);

b) Beneficije su stabilne u smislu vremena i konačne u smislu broja, a jednom definisane služe kao osnova za nove proizvodne koncepte (npr. sledeće beneficije muzičkih fanova ostale su stabilne tokom decenija za proizvode kao što su ploče, kasete, audio CD, DVD ili MP3: najviši kvalitet tona i zvuka, neograničeno trajanje puštanja muzike, apsolutna otpornost na oštećenja, neograničen rok trajanja, itd.).

Na osnovu identifikovanih beneficija za klijente, moguće je napraviti upitnik za kvantitativnu analizu tržišta za svaki set klijenata. Statistički reprezentativno istraživanje tržišta, sprovedeno za svaki izabrani set klijenata zasebno, donosi dve izjave za svaku beneficiju: njen nivo značaja za klijenta i do kog stepena zadovoljstva je ispunjena beneficija kroz postojeće proizvode. Značaj i zadovoljstvo pomažu u izračunavanju tržišnog potencijala beneficije kao odlučujućeg faktora vrednosti. Beneficije visokog značaja i slabog zadovoljstva imaju veću vrednost na potencijalnom tržištu.

Metod izračunavanja je zasnovan na novom matematičkom modelu koji razmatra uticaj nivoa od apsolutnog značaja - zahteva klijenata, uticaj nivoa zadovoljstva sa rešenjima i proizvoda poznatih klijentima, kao i

izračunati raskorak između značaja i zadovoljstva. Tržišni potencijal se računa kao maksimalna dodata vrednost u procentu koji beneficija može da doprinese ukupnoj vrednosti proizvoda [Livotov and Petrov 2013]:

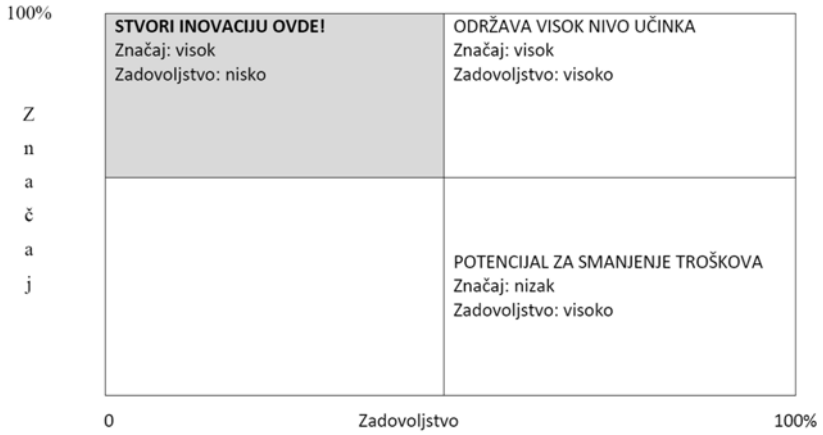
$$Y_i = \frac{X_i + a X_i (X_i - Z_i)(1 - Z_i)}{\sum_{i=1,n} (X_i + a X_i (X_i - Z_i))} \quad (1)$$

gde je:

Y_i - marker ili inovacioni potencijal beneficije u %;
X_i - nivo značaja 0...100%;
Z_i - nivo zadovoljstva 0...100%;
n - ukupan broj beneficija, npr. n=30...120;
a - koeficijent nazadovanja, npr. a=0,5....2,0.

Izvšena analiza takođe omogućava da se identifikuju novi najprofitabilniji pravci za razvoj proizvoda grupisanjem beneficija klijenata u 4 glavne grupe (sl. 4):

- kritično za beneficije klijenta: značaj-visok; zadovoljstvo- nisko
- održavanje visokog nivoa učinka: značaj-visok; zdovoljstvo-visoko
- nad-inženjering i potencijalno smanjenje troškova: značaj- nizak; zadovoljstvo-visoko
- mogući budući potencijal: značaj- nizak; zadovoljstvo- nisko.



Slika 4: Klasifikacija benefita za klijente

Iskustvo dobijeno kroz realizaciju niza inovacionih projekata omogućuje da se definišu sledeći ciljevi za izračunati rast vrednosti novog proizvoda ili usluge kao smernice za ocenjivanje odabrane inovacione strategije [Livotov and Petrov 2013]. Za rast vrednosti ispod 3%, rizik na tržištu za takvu inovaciju je visok. Za rast vrednosti između 4 i 7% u poređenju sa najboljim iz klase, moguć je održivi uspeh inovacije. Ukoliko je rast vrednosti za klijenta 8% ili veći, to znači da sledi značajan uspeh inovacije i to obično vodi ka njenom jedinstvenom položaju na tržištu.

U okviru izvršne faze beneficije klijenata sa potencijalom za visoko tržište, izabrane u strateškoj fazi, stvaraju mnoštvo informacionih zadataka za sistematsko generisanje ideja uz pomoć TRIZ inventivnih principa. Za svaki zadatak može se generisati jedna ili više ideja. Merljive beneficije za klijente omogućavaju objektivnu osnovu za ocenu ideja direktno u odnosu na dodatu vrednost koju svaka ideja pruža klijentima. Vrednost ideje je stoprocentna ukoliko su beneficije klijenata ispunjenje 100%. Treba uzeti u obzir i dodatnu procenu kriterijuma kao što su npr. troškovi implementacije, cena budućeg proizvoda i rizik od mogućeg neuspeha ili nefunkcionisanja.

3. ZAKLJUČAK

Inovacije koje su bazirane na nauci imaju strateški prioritet u poslovanju privrednih subjekata, jer se pomoću njih ostvaruje najbrži ekonomski rast. Za uspešno generisanje visoko profitabilnih inovacija na tržištu, neophodna je primena inventologije kao nauke o pronalazaštvu. Koncept novog proizvoda se sastoji od nekoliko ideja, a one su dobijene pomoću TRIZ metodologije. Po pravilu, jedna ideja mora biti izabrana za svaku beneficiju. Uz pomoć mnoštva ideja može da se razvije nekoliko koncepata proizvoda i da se za klijenta uporedi njihov ukupni nivo zadovoljstva i ostali bitni kriterijumi. Upoređivanje izračunatog nivoa zadovoljenosti klijenata novim konceptom i postojećim konkurentskim proizvodima pomaže u donošenju

odluke, ukoliko razvijeni koncept može da vodi ka značajnom rastu zadovoljstva klijenata i time uspehu inovacije na tržištu.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja vlade Republike Srbije u okviru projekata TR34034 i TR36050.

LITERATURA

[1] Anonimus (2010). Закон о иновационој делатности („Сл. гласник РС“, бр. 110/2005 и 18/2010).

[2] Бесаровић, В. (2000). Интелектуална својина, индустријска својина и ауторско право, Београд: Чигоја штампа.

[3] Иванов, Г. (1999). Формула стваралаштва – како постати проналазач, Београд: Креативни центар.

[4] Koldžin, D. (2012). Razvoj modela inovacione politike zasnovanom na konceptu otvorenih inovacija, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.

[5] Livotov, P. & Petrov, V. (2013). TRIZ innovation and inventive problem solving, Berlin: Innovation Knowledge Company.

[6] Rajić, D. (2017). Inventologija, Beograd: Autorsko izdanje.

[7] Rajić, D., Kamberović, Ž., **&** Žakula, B. (2016). Kreativni inženjering, Beograd: IC TMF.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

RECONFIGURATION OF VALUE CHAINS: INTEGRATION OF RESOURCE-BASED MODEL AND VALUE NETWORK CONCEPT

ANGELA FAJSI[1], SLOBODAN MORAČA[2], NELA CVETKOVIĆ[3]

[1] Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, angela.sladic@gmail.com
[2] Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, moraca@uns.ac.rs
[3] Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, nela.cvetkovic@yahoo.com

Abstract: *Due to rapid development of technology and expertise in certain business fields, companies have a greater chance to operate on the international markets and become members of global business networks (clusters, alliances, value networks, etc.). One of the main preconditions for that is development of internal structures of the company. It brings up the question how the development of internal resources and capabilities in company can provide competitive advantages in networked business environment such is Value network. This paper aims to bring answers on this issue and to provide suggestions how company can get value from different sources of resources within the network. Suggestions are based on literature review and on analysing company Oscar Jacobson which sucesfully reconfigure its value chain into value network.*

Keywords: *Resource-based view (RBV), value chain, value network*

1. INTRODUCTION

Companies, especially SMEs have a number of limitations that affect their business activities, such as a lack of finances, resources, expertise, etc. Due to digitilization companies have a greater opportunity to cooperate with other companies and placing its products and services on the international market. Such concept of doing business is called a networking and it is popular in last few decades. Over the years this concept has been expanded and upgraded in various forms. One of them is the Value network pioneered by Norman and Ramirez in 1993. They define value networks as *"value creating system in which all involved stakeholders co-produce value"* (Norman & Ramirez, 1993). In order to be a part of this ecosystem participants need to actively operate within the network and include its own resources as contribution to other members. Theory that examine effects of company's internal resources and capacities on its competetive advantages is called a Resource-based view (RBV) of company.

This paper aims to examine effects of RBV of the company on value network environment. When one company operate on the individual level it is not so hard to make relationship between resource engagement and business performance. But when it comes to business network it is not so easy to achieve before mentioned goals. Thus, this research is linking two theories in order to find anwers on question how interconnected companies and other organizations can get value from resources which are not fully owned or controlled by them.

This paper is organized as follows. The first chapter is introduction, then follows chapter SMEs internal resources and capacities in which was described effects of internal resources on achieving competetive advantage. In third chapter was shown parallel analysis of Resource-based view model and value network concept, while in fourth chapter was analysed case study of Oscar Jacobson company which adjusted own resources in order to create a value network. The last chapter included conclusing remarks and implications for future research.

2. COMPANY'S INTERNAL RESOURCES AND CAPACITIES

Internal resources of the company are crucial factors in achiving competetive advantage. Some examples of internal resources are: in-house knowledge, brand names, trade contacts, machinery, capital, procedures. The company is tending to create a situation where its own resources directly or indirectly make it more difficult for competitors to reach them (Wernerfelt, 1984).

Barney classifies resources as "*all assets, capabilities, organizational processes, firm attributes, information, knowledge, etc. controlled by the firm that en able the firm to conceive of and implement strategies that improve its efficiency and effectiveness*"

According to Lavie (2006) resources are valuable if they help organizations to increase the value offered to the customers. The resources that could not provide adding value lead to competitive disadvantage, so in the center of resource based view of companies are only those resources that are key for business success (Lavie, 2006).

According to Resource-based theory, there are two types of resources: tangible and intangible (Lavie, 2006).

Tangible assets are physical resources such as land, buildings, machinery, equipment and capital – all these assets are tangible. Such kind of resources can easily be found on the market, thus they can be bought by competitors which will result in the owning identical resources.

On the other hand, intangible assets are things without physical presence but can still be owned by the company, such as brand reputation, trademarks, intellectual property. Unlike tangible assets, intangible resources in most cases stay within company and represents main source of competitive advantage. Competitor cannot buy these assets on the market, it is almost impossible for companies to have identical intangible assets.

3. RESOURCE-BASED MODEL AND VALUE NETWORK CONCEPT

Today's business environment is characterized by various kind of inter-organizational networks, one of them is the Value network. Value network bring together key resources that represent property of different companies in the network. Thus, it can be said that value network concept have a lot in common with Resource-based view of companies.

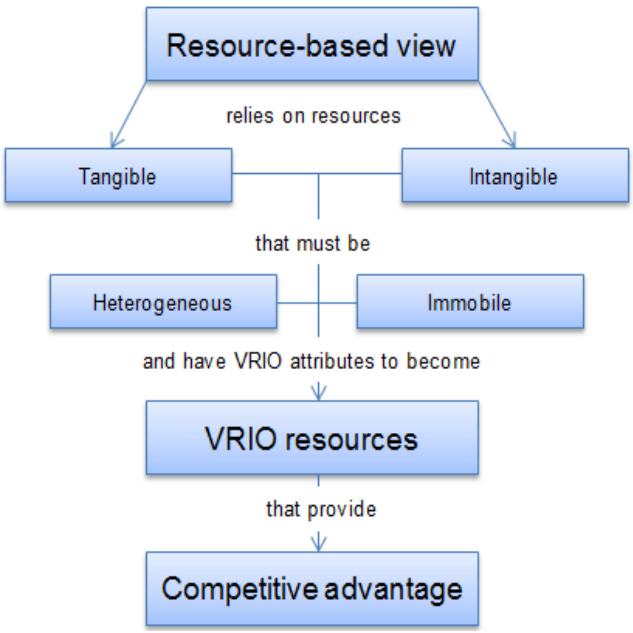


Figure 1. *Resource-based view model* (Jurevicius O., 2013)

According to the Resource-based model, it is much better to use external opportunities using existing company's resources in order to achieve higher organizational performance (Figure 1). But first it is necessary for company to improve its own internal structure and resources and prepare them from using by other participants within the network.

Network resources are external resources embedded in the company's value network that provide strategic opportunities and affect company behavior and value (Lavie, 2006).

When we speak about Resource-based view in the context of networked environment it is need to be done extension of this model in order to move beyond traditional perspective and to provide effective using of both internal and external resources (Peteraf, 1993). Limitations of the RBV are in explaining competitive advantage in networked environment by using resources from other companies. This brings up the question how interconnected companies and other organizations can get value from resources which are not fully owned or controlled by them.

Rumelt (1984) and Wernerfelt (1984) connect the RBV with profitability. They state that internal development of resources, their nature, and different methods of employing resources are related to profitability.

As aforementioned, not all resources are important in process of achieving competitive advantage but only those resources that have following characteristics: value, rarity, imperfect imitability, and imperfect substitutability (Barney, 1991).

When it comes to examining RBV in the context of value network concept, scholars state that "value-creating" resources are in most cases owned and controlled by central company in the network.Value network partners play a significant role in shaping the resource-based competitive advantage of the company. Effective using of internal resources provide better company's position on the market.

In recent years, research showed that resources engaged in network and used by other network participants have a significant impact on company performance (Gulati, 1999; Madhvan et.al, 1998). Also, these studies suggest that these resources have a positive impact on the achieving of competitive advantage of companies that are members of the network. Figure 2 represent example of value network model,

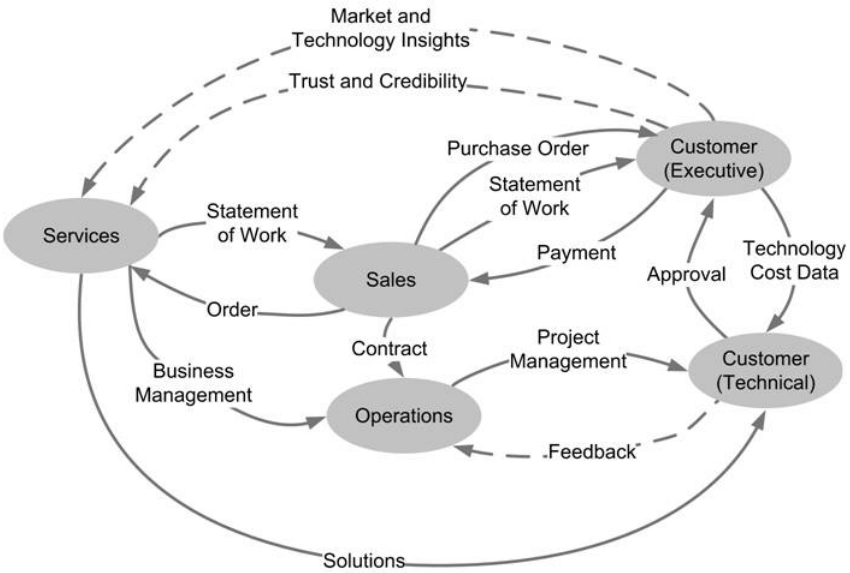


Figure 2. Value network model (Allee, 2008)

Authors suggest using the both Value network and Resource-based analysis to assess company's business strengths relative to their competitors. Value network analysis is centered on a distribution and logistics evaluation, while resource-based analysis is more grounded in economics. Using both analysis can help companies to improve business efficiency and sell their strengths to the market.

4. RECONFIGURATION OF INTERNAL CAPACITIES AND INTEGRATION INTO VALUE NETWORKS – OSCAR JACOBSON (CASE STUDY)

This paper examine a case study „*From value chain to value networks*" for textile company Oscar Jacobson. The aim of this research is to show importance of managing internal resources to get required position on international market.

Oscar Jacobson company is traditional clothing manufacturer which moved their production systems in Baltic regions. So, focus of this company is not to manufacturing anymore, they are more oriented to improve customer services in order to provide added value to them. Outsourcing of entire production is result of reconfiguration of Oscar Jacobson value chain. Company do not have plans to buy new production utilities, their mission is to focus on activities that produce more value for the customers and provide better business results for company (Andersson & Ivansson, 2004).

The value chain can be modified by identifying critical indicators such as primary and support activities, as well as linkages. This can enable the company to make modifications. This research indicates that inbound logistics, production and outbound logistics are the most essential primary activities and the most difficult activities to control in order to deliver customer value

The company's infrastructure, procurement and technology development have been recognized as important support activities. On the other hand, linkages among network participants are very important as well. There are two kind of linkages, internal and external. Internal linkages are linkages within the company such as product development and procurement, product development and production, customer service and finished good inventory. External linkages include relations between the company and its supplies and between the company and other organizations (Andersson & Ivansson, 2004).

As aforementioned, the first step for reconfiguring value chain is moving production lines to Riga and Talinn in order to make company more cost efficient. Outsourcing means that parent company has a less control under their production process. Thus, Oscar Jacobson had to take active role in communiction with outsourcing factories.

To avoid delays from suppliers, Oscar Jacobson tries to develop a better network with suppliers and customers by letting them be part of an ongoing experience.They have outsourced their warehouse of raw material to a logistic .Company and reorganized their finished good warehouse as well as implemented a new computer system, which enables the company to better process the operations (Andersson & Ivansson, 2004).

Based on experience of Oscar Jacobson company, author make suggestions for establishment of effective value network where all participants co-create value together.

-Provide better linkages betwen production and procurement.
-Outsourcing the ordering of raw material and providing that it goes direct to factories.
-Provide better vertical linkages.
-Continual learning and replinshment

The aim of Oscar Jacobson's value chain reconfiguration was to prepare internal resources to be used from other network participants in order to provide effective environment of value co-creation.

5. CONCLUSION

In the context of networked environment the company needs to engage own resources and make them appropriate for external use by network participants The company is moving away from the traditional sequential value chain concept and the linear value added perspective, to a co-productive value environment (Herrala et.al, 2011).

This paper has the aim to show importance of integration of Resource-based view and Value nework concept. Concept of value network is based on using external resources from network participants and in return, giving own resources to others in the network. Oscar Jacobson Company was trying to create a network with its supplier and customers to co-produce value.. They has understood the importance of carefully choosing their partners and making sure that they have the right knowledge and resources (Andersson & Ivansson, 2004).

Today, companies need to be oriented towards creating a network that enables all parties involved in the process to perform the right activities, which will create value for everyone. This paper showed importance of internal resources on effectivness of network as a whole, and implications for future research are oriented towards conditions for improving company's internal structure, especially for those that operate in less developed regions.

Acknowledgement

This work was partially supported by the Ministry of Education, Science and Technology Development of the Republic Serbia under Grant number TR-35050, for the period 2011-2017.

REFERENCES

Allee, V. (2008). Value network analysis and value conversion of tangible and intangible assets. Journal of intellectual capital, 9(1), 5-24

Andersson, K., & Ivansson, M. (2004). From value chain to value network Case study: Oscar Jacobson. Gradute Business school, Goterborg

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management, 17: 99-120

Barney, J. B. (2001). Resource-based theories of competitive advantage: A ten-year retrospective on the resource-based view. Journal of management, 27(6), 643-650.

Gulati, R., & Gargiulo, M. (1999). Where do interorganizational networks come from?. American journal of sociology, 104(5), 1439-1493.

Herrala, M., Pakkala, P., & Haapasalo, H. (2011). Value-creating networks–a conceptual model and analysis. Research reports in Department of Industrial Engineering and Management, 4, 2011.

Jurevicius, O. (2013), Resource based view, https://www.strategicmanagementinsight.com/topics/resource-based-view.html

Lavie, D. (2006). The competitive advantage of interconnected firms: An extension of the resource-based view. Academy of management review, 31(3), 638-658.

Madhavan, R., Koka, B. R., & Prescott, J. E. (1998). Networks in transition: How industry events (re) shape interfirm relationships. Strategic management journal, 439-459.

Normann, R., & Ramirez, R. (1993). From value chain to value constellation: Designing interactive strategy. Harvard business review, 71(4), 65-77

Peteraf, M. A. (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource based view. *Strategic management journal*, *14*(3), 179-191.

Rumelt, R. P. (1984). Towards a strategic theory of the firm. Competitive Strategic Management, 26: 556-570

Wernerfelt, B. (1984). A resource based view of the firm. Strategic management journal, 5(2), 171-180.

2017

KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

KONVEKSNA I SLABO KONVEKSNA DOMINACIJA ZA HAMINGOVE GRAFOVE

CONVEX AND WEAK CONVEX DOMINATION NUMBER OF HAMMING GRAPHS

ALEKSANDAR SAVIĆ[1], ZORAN MAKSIMOVIĆ[2], MILENA BOGDANOVIĆ[3], JOZEF KRATICA[4],

[1] Matematički fakultet Univerziteta u Beogradu, asavic@matf.bg.ac.rs
[2] Vojna akademija, zoran.maksimovic@gmail.com
[3] Pedagoški fakultet Univerziteta u Nišu, mb2001969@beotel.net
[4] Matematički institut SANU, jkratica@mi.sanu.ac.rs

Rezime: *U ovom radu su razmatrani problemi konveksne dominacije i slabo konveksne dominacije za Hamingove grafove. Dobijena je tačna vrednost konveksnog dominantnog broja za Hamingove grafove. Pokazano je da tačna vrednost konveksnog dominantnog broja za Hamingov graf predstavlja gornju granicu za slabo konveksni dominantni broj Hamingovog grafa koja može biti dostignuta.*

Ključne reči: *Konveskni dominantan broj grafa, slabi konveksni dominantan broj grafa, Hamingovi grafovi.*

Abstract: *In this paper Convex Domination Problem and Weakly Convex Domination Problem for Hamming graphs are discussed. The exact value of Convex Domination number for Hamming graphs is given. It was shown that upper bound for Weakly Convex Domination number for Hamming graphs is tight.*

Keywords: *Convex domination number, Weakly convex domination number, Hamming graphs.*

1. UVOD

Ovaj rad je posvećen rešavanju problema konveksne (Convex Domination Problem – CDP) i slabe konveksne dominacije (Weakly Convex Domination Problem – WCDP) na jednoj specijalnoj klasi grafova. Dominantan skup (Dominating Set) grafa G se definiše kao skup D, $D \subset V(G)$ takav da je svaki čvor $u \in V(G)$ ili u dominantnom skupu ili mu je sused u dominantnom skupu. Dominantni broj $\gamma(G)$ je broj elemenata najmanjeg dominantnog skupa.

Svi grafovi razmatrani u ovom radu biće prosti, tj. bez petlji i paralelnih grana. Kako bi uveli osobinu konveksnosti u grafove definišimo rastojanje $d(u,v)$ između proizvoljnih čvorova G kao dužinu najkraćeg puta između njih. Kako graf nije težinski, rastojanje $d(u,v)$ je jednako minimalnom broju grana u putu koji ih spaja.

Reći ćemo da je skup čvorova S, $S \subset V(G)$ slabo konveksan skup (weakly convex set) u G ako za proizvoljna dva čvora $u,v \in S$ svi čvorovi u bar jednom od najkraćih u-v puteva pripadaju S. Slabo konveksan dominantan skup (Weakly Convex Dominating Set) je skup S koji je i slabo konveksan i dominantan. Slično kao i u slučaju dominacije, slabo konveksan dominantan broj $\gamma_{wcon}(G)$ je jednak minimalnoj kardinalnosti među svim slabo konveksnim dominantnim skupovima. Slabo konveksan dominantan problem (WCDSP) je problem nalaženja takve minimalne kardinalnosti.

Konveksna dominacija postavlja strože uslove. Reći ćemo da je skup čvorova S, $S \subset V(G)$, konveksan skup u G ako za proizvoljna dva čvora $u,v \in S$ svi čvorovi u svim najkraćim u-v putevima pripadaju S. Skup S je konveksan dominantan skup ako je on i konveksan i dominantan. Konveksni dominantni broj $\gamma_{con}(G)$ je minimalna kardinalnost po svim konveksnim dominantnim skupovima datog grafa G. Konveksan dominantan problem (CDSP) se može definisati kao problem nalaženja ove minimalne kardinalnosti.

2. RANIJI REZULTATI

Jirži Top je 2002. godine uveo problem nalaženja konveksnog dominantnog broja. U radu (Raczek 2002) je dokazano da su problemi odlučivanja za WCDSP i CDSP, čak i za bipartitne i podeljene grafove, NP kompletni, a samim tim su određivanja slabo konveksnih dominantnih brojeva i konveksnih dominantnih brojeva NP-teški u opštem slučaju.

U radu (Lemanska 2004), su razmatrani odnosi između $\gamma_{con}(G)$ i $\gamma_{wcon}(G)$ za određene klase grafova, a dokazana je sledeća lema za povezane grafove.

Lema 1. Za proivoljan povezan graf G važi:

$$\gamma(G) \le \gamma_{wcon}(G) \le \gamma_{con}(G). \tag{1}$$

U radu (Janakiraman i Alphonse 2010) su dobijene različite granice za vrednosti slabo konveksnih i konveksnih dominantnih brojeva. Interesantni rezultati su predstavljeni u (Cyman *et al.* 2006) iz kojih bi istakli sledeću napomenu i dve teoreme.

Napomena 1. Za cikl C_n sa $n \ge 6$ čvorova je $\gamma_{con}(C_n) = n$.

Teorema 1. Ako je $G = (V,E)$ povezan graf sa $\delta(G) \ge 2$ i $g(G) \ge 6$, tada je $\gamma_{con}(G) = |V|$, gde su $\delta(G)$ najmanji stepen čvora u G a $g(G)$ je dužina najkraćeg cikla u G.

Kako bi iskazali drugu od teorema iz (Cyman *et al* 2006) uvedimo prvo pojam *Dekartovog proizvoda grafova*.

Dekartov proizvod $G \square H$ grafova $G = (V_G, E_G)$ i $H = (V_H, E_H)$ je graf sa skupom čvorova $V_G \times V_H = \{(a,v) \mid a \in V_G, v \in V_H\}$ gde je (a,v) sused od (b,w) čim je $a = b$ i $\{v,w\} \in E_H$ ili $v = w$ i $\{a,b\} \in E_G$.

Teorema 2. Za proizvoljne povezane grafove G i H, važi nejednakost

$$\gamma_{con}(G)\gamma_{con}(H) \le \gamma_{con}(G \square H). \tag{2}$$

Rezultat koji povezuje koveksni dominantni broj Dekartovog proizvoda i broj čvorova grafa daje sledeća teorema dokazana u (Labendia & Canoy, 2012) koja tvrdi

Teorema 3. Neka su G i H proizvoljni povezani grafovi sa m i n čvorova, respektivno. Tada je $\gamma_{con}(G \square H) = \min\{m \cdot \gamma_{con}(H), n \cdot \gamma_{con}(G)\}$.

U ovom radu ćemo posmatrati specijalnu klasu Dekartovih proizvoda grafova: Hamingove grafove (Hamming graphs). Hamingov graf $H_{n,k}$ se definiše kao:

$$H_{n,k} = \underbrace{K_k \square K_k \square \ldots \square K_k}_{n} \tag{3}$$

gde K_k označava kompletan graf (clique) sa k čvorova. Čvorovi Hamingovih grafova se mogu razmatrati kao n-dimenzionalni vektori, sa koordinatama koje uzimaju vrednosti u skupu $\{0,1,\ldots,k-1\}$. Dva čvora su susedna ako se razlikuju u tačno jednoj koordinati. Specijalno, za $k = 2$, graf $H_{n,2}$ se može predstaviti kao hiperkocka Q_n reda n, čiji čvorovi su n-dimenzionalni binarni vektori koji su susedni ako imaju jednu koordinatu različitu.

Očigledno je da $H_{n,k}$ ima k^n čvorova i svaki čvor ima n-dimenzionu okolinu sa $k-1$ grana u odnosu na svaku koordinatu, tako da je ukupan broj grana jednak $k^n \cdot n \cdot (k-1)/2$.

Primer 1. Hamingov graf $H_{3,4}$ ima $4^3 = 64$ čvorova, od kojih svakom odgovara uređena trojka čije koordinate mogu biti brojevi 0,1,2 ili 3. Na primer, čvor (2,0,3) ima susedne čvorove (2,1,3), (2,2,3), (2,3,3), (2,0,0), (2,0,1), (2,0,2), (0,0,3), (1,0,3) i (3,0,3).

3. KONVEKSNI I SLABO KONVEKSNI DOMINANTNI BROJEVI ZA HAMINGOVE GRAFOVE

Vrednost konveksnog dominantnog broja za Hamingov graf $H_{n,k}$ u potpunosti je određena sledećom teoremom.

Teorema 4. Za proizvoljan Hamingov graf $H_{p,q}$ konveksni dominantni broj je $\gamma_{con}(H_{p,q}) = q^{p-1}$.

Dokaz. Dokaz ćemo izvesti indukcijom po vrednosti parametra p.

Za p = 1 Hamingov graf $H_{1,q} = K_q$. Kako je K_q kompletan graf, konveksan dominantan skup sa minimalnom kardinalnošću se sastoji od jednog čvora pa je tvrđenje zadovoljeno jer je $q^0 = 1$.

Za $p = 2$ Hamingov graf $H_{2,q} = K_q \square K_q$. Koristeći rezultat Teoreme 3 imamo da je

$$\gamma_{con}(K_q \square K_q) = \min\{q\gamma_{con}(K_q), q\gamma_{con}(K_q)\} = \min\{q \cdot 1, q \cdot 1\} = q = q^{2-1}$$

Pretpostavimo da tvrđenje važi za svako $r < p$, tj. $\gamma_{con}(H_{r,q}) = q^{r-1}$. Pokažimo da tada tvrđenje važi i za p. Posmatrajmo $H_{p,q}$. Iz definicije Hamingovog grafa je $H_{p,q} = H_{p-1,q} \square K_q$. Ponovo koristeći Teoremu 3 i primedbu o broju čvorova Hamingovog grafa, dobijamo

$$\gamma_{con}(H_{p-1,q} \square K_q) = \min\{q\gamma_{con}(H_{p-1,q}), q^{p-1}\gamma_{con}(K_q)\} \tag{4}$$

Koristeći induktivnu hipotezu da je $\gamma_{con}(H_{p-1,q}) = q^{p-2}$ izraz (4) postaje

$$\gamma_{con}(H_{p-1,q} \square K_q) = \min\{q \cdot q^{p-2}, q^{p-1} \cdot 1\} = q^{p-1} \tag{5}$$

Odavde i sledi tvrđenje teoreme.

U slučaju slabo konveksnog dominantnog broja ne postoji ovako direktna veza (formula). Ovo se vidi iz Tabele 1 gde su date vrednosti slabo konveksnog dominantnog broja za neke manje vrednosti parametara p i q. Takođe su date i vrednosti za hiperkocke Q_n za vrednosti $n \le 5$. Vrednosti u Tabeli 1 su dobijene primenom totalne enumeracije. Kako je određivanje slabo konveksnih dominantnih brojeva i konveksnih dominantnih brojeva NP-teško u opštem slučaju, egzaktni algoritmi ne mogu se koristiti za određivanje rešenja za grafove srednje i velike veličine. Konstruisanim algoritmom totalne enumeracije mogu se dobiti tačna rešenja za grafove sa oko 30 čvorova (Q_5 ima 32 čvora). U procesu traženja egzaktnog rešenja, posmatraju se svi podskupovi S, $S \subseteq V(G)$ počevši od $S = V(G)$ i proverava da li je $|S|$ manje od broja čvorova najboljeg rešenja do tada, kao i da li je S dominantan i (slabo) konveksan. U slučaju da su navedeni uslovi zadovoljeni, S se proglašava za najbolje rešenje do tada. Ako uslovi nisu ispunjeni, postupak se ponavlja za drugi podskup S skupa čvorova grafa G. Kada algoritam završi sa radom, najbolje dostignuto rešenje predstavlja i rešenje problema određivanja (slabo) konveksnih dominantnih brojeva.

Tabela 1: Vrednost slabo konveksnog dominantnog broja za neke Hamingove grafove

Hamingov graf	**Vrednost** γ_{wcon}	Vreme izvršavanja (u sekundama)
Q_1	1	0.000001
Q_2	2	0.000001
Q_3	4	0.000001
$H_{2,3}$	3	0.000001
$H_{2,4}$	4	0.015000
Q_4	8	0.015000
$H_{3,3}$	9	32.619000
$H_{2,5}$	5	8.782000
Q_5	14	1034.063000

Kao što se može videti iz Tabele 1, u slučaju hiperkocke Q_5 (parametri su p = 5, q = 2) ne može se primeniti formula koja je važila za konveksne dominantne zato što je $\gamma_{con}(Q_5) = 2^{5-1} = 16$, a totalnom enumeracijom je dobijeno da je $\gamma_{wcon}(Q_5) = 14$. U nekim drugim slučajevima, kao na primer $H_{3,3}$, vrednosti iz formule i u tabeli se poklapaju, jer je $3^{3-1} = 9$.

5. ZAKLJUČAK

Razmatrani su problemi konveksne dominacije i slabe konveksne dominacije za Hamingove grafove. Dobijena je tačna vrednost konveksnog dominantnog broja za Hamingove grafove. Pokazano je da tačna

vrednost slabo konveksnog dominantnog broja može dostići tačnu vrednost konveksnog dominantnog broja za Hamingov graf (hiperkocku) Q_5.

LITERATURA

[1] J. Cyman, M. Lemanska, J. Raczek: Graphs with convex domination number close to their order. Discuss. Math. Graph Theory, 26 (2006), 307-316.

[2] T.N. Janakiraman, P.J.A. Alphonse: Weak convex domination in graphs. Inter-national Journal of Engineering Science, Adv. Comput. and Bio Tech., 1(1) (2010), 1-13.

[3] M.A. Labendia, S.R. Canoy, Jr.: Convex domination in the composition and Cartesian product of graphs. Czechoslovak Math. J., 62(137)(4) (2012), 1003-1009.

[4] M. Lemanska: Weakly convex and convex domination numbers. Opuscula Math.,24(2) (2004), 181-188.

[5] J. Raczek: NP-completeness of weakly convex and convex dominating set decision problems. Opuscula Math., 24(2) (2004) 189-196.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

COMPOSITE COMPLEXITY INDICES FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM

DRAGOŠ CVETKOVIĆ

Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade
and
Mathematical Institute SANU, Belgrade, ecvetkod@kondor.etf.rs

MIRJANA ČANGALOVIĆ

Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, canga@fon.bg.ac.rs

ZORICA DRAŽIĆ

Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, lolaz@sezampro.rs

VERA KOVAČEVIĆ-VUJČIĆ

Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, verakov@fon.bg.ac.rs

---

Abstract: *We consider the symmetric traveling salesman problem (TSP) with instances represented by complete graphs G with distances between cities as edge weights. A complexity index is an invariant of an instance I by which we predict the execution time of an exact TSP algorithm for I. In our previous work we have defined several complexity indices for the TSP. In this paper we investigate new complexity indices which are based on a composition of some existing ones. Computational experiments with instances on 50 vertices with the uniform distribution of integer edge weights in the interval [1,100] show that there exists correlation between the sequences of composite indices and the sequence of execution times of the well known TSP solver Concorde, which is stronger than the correlation between individual indices and the execution times.*

Keywords: *Traveling salesman problem, Complexity index, Concorde TSP solver, Correlation*

1. INTRODUCTION

The traveling salesman problem (TSP) is one of the best-known NP-hard combinatorial optimization problems. There is an extensive literature on both theoretical and practical aspects of the TSP (see e.g. Lawler et al. [10], Gutin and Punnen [9], Applegate et al. [1]). The symmetric traveling salesman problem, which will be considered in this paper, consists of finding a Hamiltonian cycle of the minimal weight in a weighted complete undirected graph G with n vertices.

A challenging question is which features of a TSP instance make a particular algorithm behave well or poorly. One approach to this problem has been introduced in [3, 4] where the notion of a complexity index is defined as follows:

Definition [3]. Let A be an exact algorithm for solving an NP-hard combinatorial optimization problem C and let I be an instance of C of dimension n. A complexity index of I with respect to A is a real r, computable in polynomial time $P(n)$ from I, by which we can predict (in a well defined statistical sense) the execution time of A for I.

The definition of the complexity index can be relaxed by allowing an exponential time for calculating the values of the index, provided this time is still substantially smaller than the time of the execution of algorithm A. The efficiency of the complexity index r can be statistically estimated measuring correlation between the index value and the execution time of algorithm A. Several complexity indices for the TSP with respect to exact branch and bound algorithms have been studied in [4, 6, 7, 8].

The first experiments with the complexity indices were related to the open tour symmetric TSP with respect to the branch and bound (B&B) algorithm which uses the minimal spanning tree (MST) problem as a relaxation (see Cvetković [4]). The main idea is based on the expectation that the B&B algorithm will run for longer the more the MST deviates from a path, i.e. the greater "branching extent" it has. In [4] several graph invariants characterizing well the "branching extent" have been considered as complexity indices for the TSP. Numerical experiments with randomly generated graphs with up to 16 vertices show that there exists correlation between all the proposed indices and the number of solved relaxation tasks in the B&B algorithm.

Another approach to the complexity indices was motivated by the semidefinite programming (SDP) relaxation of the TSP [5]. Let matrix X be a solution of the SDP relaxation problem and let $L = X + h_n I - J$ has the entries l_{ij}, where $h_n = 2 - 2\cos(2\pi / \mathrm{n})$. Then L determines the weighted graph $W_L = (V, E_L, C_L)$, where the vertex set is $V = \{1, 2, ..., n\}$, the edge set is $E_L = \{\{i, j\} \mid l_{ij} < 0\}$ and the weight matrix is $C_L = 2I - L$, and the corresponding non-weighted graph $G_L = (V, E_L)$. Several graph invariants of G_L and W_L have been considered as complexity indices with respect to the B&B algorithm for the TSP based on the SDP relaxation (see Cvetković et al. [6]). Numerical experiments with randomly generated graphs with up to 35 vertices show that there exists correlation between all these indices and the number of solved relaxation tasks in the B&B algorithm.

In [8] we have considered some short edge subgraphs of G and defined several new invariants related to their connected components. In this paper we extend the obtained results by introducing complexity indices based on compositions of invariants from [8].

2. COMPOSITE COMPLEXITY INDICES

Intuitively, the hardness of an instance I of the TSP depends on the distribution of short edges within G. Solutions of the MST and the SDP relaxations gave as the output certain short edge subgraphs. In [8] we considered two other types of short edge subgraphs of G as non-weighted graphs and several their invariants as potential complexity indices.

The first type of a short edge subgraph consists of edges of length 1 or 2. From the point of view of the theory of random graphs, such subgraphs are random graphs of Erdos-Renyi type with probability p=0.2 for any two vertices to be connected by an edge [2]. In this paper we consider the following six invariants for this type of subgraphs. The first three have already been defined in [8] and the additional three are their slight extension.

J_1: the product of the numbers of vertices of its components;

J_2: the product of the numbers of vertices in longest self-avoiding paths in the components;

J_3: the product over all components of the product of the number of vertices in the component and the length of the longest self-avoiding path (in the case that the length is equal to 0 we put 1 instead).

J_4: the product over all components of the product of the number of vertices in the component, the length of the longest self-avoiding path and the number of longest self-avoiding paths.

J_5: the product of the squared numbers of vertices of its components;

J_6: the product over all components of the squared quantities (1+length of the longest self-avoiding path).

The second type of a short edge subgraph is defined as the solution of the assignment problem obtained from the linear integer programming formulation of the TSP when subtour elimination constraints are omitted. In this subgraph all components are cycles. The following invariants of this subgraph were considered in [8]:

J_7: the product of the numbers of vertices of components;

J_8: the number of components.

In [8] we have measured the efficiency of indices $J_1 - J_3$ and $J_7 - J_8$ in the following way. For the dimension n=50, two series $S(1)$ and $S(2)$ of one hundred randomly generated TSP instances were

considered, with weights uniformly distributed in interval [1,100], $S(2)$ being a control series. For numerical experiments we have used the computer package the Concorde TSP Solver, a program for solving the traveling salesman problem [1]. We have recorded Concorde execution times for solving particular instances of $S(1)$ and $S(2)$. As Concorde execution times slightly vary when the same instance is run several times, we took the average execution time for five executions of the same instance.

The efficiency of each particular index was measured by linear correlation between the sequence of index values and the sequence of Concorde execution times. The coefficient of linear correlation for two sequences $B = (b_i)$ and $C = (c_i)$ of length p is defined by

$$C_{BC} = \frac{1}{\sqrt{\nu_B \, \nu_C}} \sum_{i=1}^{p} (b_i - m_B)(c_i - m_C) \ ,$$

where m_B, m_C, ν_B, ν_C are mean values and variances of the corresponding sequences B and C, respectively.

In this paper we extend the analysis to the three new indices. For the sake of completeness, Table 1 summarizes the linear correlation coefficients between the values of all complexity indices $J_k, k = 1,...,8$ and the execution times of Concorde TSP solver for sets of instances $S(1)$ and $S(2)$.

Table 1: Correlation coefficients for instances $S(1)$ and $S(2)$

index	Correlation for $S(1)$	Correlation for $S(2)$
J_1	0.4697	0.4789
J_2	0.4639	0,4731
J_3	0.4677	0.4737
J_4	0.4646	0.5110
J_5	0.4899	0.5997
J_6	0.5204	0.5884
J_7	0.2398	0.1082
J_8	0.2544	0.2327

Since some of the indices are closely related we have measured linear correlation among the pairs of the index values for the series $S(1)$. The results are summarized in Table 2.

Table 2: Correlation between complexity indices

Pair	Correlation	Pair	Correlation
J_1, J_2	0.9731	J_3, J_5	0.9628
J_1, J_3	0.9273	J_3, J_6	0.9418
J_1, J_4	0.8161	J_3, J_7	-0.0524
J_1, J_5	0.8874	J_3, J_8	0.9857
J_1, J_6	0.9112	J_4, J_5	0.9857
J_1, J_7	-0.0756	J_4, J_6	0.9113
J_1, J_8	-0.0680	J_4, J_7	-0.0417
J_2, J_3	0.8743	J_4, J_8	-0.0248
J_2, J_4	0.7328	J_5, J_6	0.9629
J_2, J_5	0.8292	J_5, J_7	-0.0481

J_2, J_6	0.9098	J_5, J_8	-0.0316
J_2, J_7	-0.0748	J_6, J_7	-0.0402
J_2, J_8	-0.0409	J_6, J_8	-0.0165
J_3, J_4	0.9336	J_7, J_8	0.6589

Table 2 shows correlation coefficients between complexity indices $J_k, k = 1,...,8$. We see that these complexity indices fall into two groups $J_1 - J_6$ and $J_7 - J_8$ in such a way that indices within each group are highly dependent (correlation coefficient "close" to 1) while any two from different groups are almost independent (correlation coefficient "close" to 0).

The main contribution of this paper are experiments with composite complexity indices which are obtained by suitable combinations of indices $J_k, k = 1,...,8$. In order to obtain equal participation of different indices, values of all the indices have been normalized to the interval [0,100]. Note that the normalization did not change the values of correlation coefficients. We have considered three types of combinations of indices: for a chosen subset of indices we generate a new composite index as the minimum (*min*), the maximum (*max*) and the *sum* of index values. Then the correlation between the values of composite indices and Concorde execution times is computed. Table 3 summarizes the results for instances *S*(1).

Table 3: Correlation coefficients for composite indices for instances *S*(1)

combination	*min*	*max*	*sum*
J_1, J_3, J_5, J_6	0.4882	0.4747	0.4996
J_5, J_6, J_7, J_8	0.3966	0.3431	0.4717
J_5, J_6	0.4872	**0.5230**	0.5105
J_1, J_6	0.5156	0.4757	0.5050
J_3, J_6	0.4859	0.5046	0.5018
J_2, J_6	0.5204	0.4639	0.5003
J_6, J_8	**0.5249**	0.3431	0.4163
J_6, J_7	0.4055	0.4774	0.4984
J_1, J_5	0.4899	0.4697	**0.4927**
J_1, J_8	**0.5113**	0.3379	0.4194
J_1, J_7	**0.5027**	0.4435	**0.4914**
J_7, J_8	0.2398	0.2544	**0.2712**
J_5, J_8	**0.5635**	0.3440	0.3976
J_5, J_7	0.4198	0.4434	0.4713
J_1, J_5, J_6	0.4872	0.4757	0.5064
J_5, J_6, J_8	**0.5580**	0.3431	0.5023
J_5, J_6, J_7	0.3966	0.4771	**0.5620**
$J_k, k = 1,...,8$	0.4592	0.3352	**0.5805**
$J_k, k = 1,...,7$	0.4592	0.4605	**0.5510**
$J_k, k = 1,...,6, J_8$	0.5024	0.3352	**0.5702**
$J_k, k = 2,...,6$	0.4662	0.4607	0.5016
$J_k, k = 1,...,4, J_7, J_8$	0.4637	0.3352	**0.5568**

Bolded entries of Table 3 indicate that the correlation coefficient of the combination is better than any of the correlation coefficients of indices that take part in the combination. Out of 22 combinations of indices, composite index *min* gave better results than all of its ingredients 5 times, *sum* gave better results 8 times, while composite index *max* was better once. The overall best result 0.5805 is obtained for the composite index *sum* of $J_k, k = 1,...,8$, while maximal value of individual indicators $J_k, k = 1,...,8$ is 0.5204.

Results obtained for instances S(2) are summarized in Table 3. Composite index *min* gave better results than its ingredients 6 times, while *sum* and *max* gave better results once. The overall best result 0.6002 is obtained for min $\{ J_1, J_5, J_6 \}$ and min$\{ J_5, J_6 \}$.

Table 4: Correlation coefficients for composite indices for instances *S*(2)

combination	*min*	*max*	*sum*
J_1, J_3, J_5, J_6	0.5902	0.4404	0.5502
J_5, J_6, J_7, J_8	0.2913	0.3519	0.5087
J_5, J_6	**0.6002**	0.5881	0.5947
J_1, J_6	**0.5884**	0.4789	0.5375
J_3, J_6	**0.5903**	0.4930	0.5480
J_2, J_6	**0.5884**	0.4731	0.5326
J_6, J_8	0.5071	0.3518	0.4490
J_6, J_7	0.2659	0.5153	0.5071
J_1, J_5	**0.5997**	0.4789	0.5420
J_1, J_8	0.3987	0.3519	0.4169
J_1, J_7	0.1136	0.4549	0.4303
J_7, J_8	0.1082	**0.2327**	0.2193
J_5, J_8	0.5411	0.3519	0.4506
J_5, J_7	0.2900	0.5161	0.5115
J_1, J_5, J_6	**0.6002**	0.4789	0.5595
J_5, J_6, J_8	0.5427	0.3519	0.5448
J_5, J_6, J_7	0.2913	0.5156	0.5797
$J_k, k = 1,...,8$	0.3334	0.3473	0.5515
$J_k, k = 1,..., 7$	0.3334	0.4230	0.5410
$J_k, k = 1,..., 6, J_8$	0.5639	0.3473	0.5559
$J_k, k = 2,..., 6$	0.5836	0.4376	0.5452
$J_k, k = 1,..., 4, J_7, J_8$	0.3277	0.3473	**0.5137**

It is known that a weighted linear combination of mutually independent complexity indices can provide a new (composite) index whose correlation coefficient with execution times is higher than correlation coefficients of particular indices. We present two examples. We have used calculus tools to find that among linear combinations $J_6 + \alpha J_8$ the combination with $\alpha = 4.54 * 10^9$ gives the correlation coefficient 0.58, which is higher not only from the values of correlations for J_6, J_8 individually, but also from the correlation for $J_6 + J_8$, everything considered for the series *S*(1). Looking at series *S*(2) we found that combination

$J_5 + \beta J_8$ with $\beta = 10^{10}$ has correlation coefficient 0.61 with execution times. In our future work we plan to investigate weighted linear combinations of the complexity indices with more than two summands.

5. CONCLUSION

This paper defines several composite complexity indices by which the execution time of an exact TSP solver can be predicted. Computational experiments with instances on 50 vertices show that there exists correlation between the sequences of composite complexity indices and the sequence of execution times of the well known TSP solver Concorde. For some composite indices correlations are better than for individual indices taking part in the composition. The results obtained for the weigted linear combination of some individual indices seem to be encouraging and in the future work we will try to give theoretical explanations of the obtained computational results.

REFERENCES

[1] Applegate, D., Bixby, R. E., Chvátal, V., Cook, W. J., *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press, 2006.

[2] Bollobas, B., *Random Graphs*, Academic Press, London, 1985.

[3] Cvetković, D., Dimitrijević, V., Milosavljević, M., "A survey of some non-standard traveling salesman problems", *Yugoslav Journal of Operations Research,* 2 (2)(1992), 163-185.

[4] Cvetković, D., Dimitrijević, V., Milosavljević, M., *Variations on the Travelling Salesman Theme*, Libra produkt, Beograd, 1996.

[5] Cvetković, D., Čangalović, M., Kovačević-Vujčić, V., "Semidefinite programming methods for the symmetric traveling salesman problem", in: G. Cornuejols, R. E. Burkard, G. J. Woeginger, (eds.), *Integer Programming and Combinatorial Optimization, Proc. 7th Internat. IPCO Conf.,* Graz*, Austria, June 1999*, *Lecture Notes Comp. Sci*. 1610, Springer, Berlin, 1999, 126-136.

[6] Cvetković, D., Čangalović, M., Kovačević-Vujčić, V., "Complexity indices for the traveling salesman problem based on a semidefinite relaxation", *Zbornik radova XXVI Simpozijuma iz operacionih istraživanja SYM-OP-IS '99*, Beograd, 1999, 177-180.

[7] Cvetković D., "Complexity indices for the travelling salesman problem and data mining", *Transactions of Combinatorics*, 1(1)(2012), 35-43.

[8] Cvetković D., Čangalović, M., Dražić, Z., Kovačević- Vujčić, V., "Some new complexity indices for the traveling salesman problem", *Zbornik radova XLIII Simpozijuma iz operacionih istraživanja SYM-OP-IS '16,* Tara, 2016, 283-286.

[9] Gutin, G., Punnen, A., (eds.), *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.

[10] Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnoy Kan, A.H.G., Shmoys, D.B., (eds.), *The Traveling Salesman Problem*, John Wiley and Sons, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore, 1985.

2017

POSEBNA TEMA: KVANTITATIVNI MODELI U FINANSIJAMA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

KORELACIONA ANALIZA U FUNKCIJI PLANIRANJA I PREDVIĐANJA ULAGANJA NA TRŽIŠTU KAPITALA

CORRELATION ANALYSIS IN THE FUNCTION OF PLANNING AND FORECASTING IN THE CAPITAL MARKET

AMELA PIRALIĆ[1], AIDA BRKAN-VEJZOVIĆ[2]

[1] Ekonomski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru, BiH, amela.pajic@unmo.ba
[2] Ekonomski fakultet Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru, BiH, aida.brkan@unmo.ba

---

Rezime: *Ovim radom predstavljen je postupak okvirnog izbora informacija prezentovanih u finansijskim izvještajima kompanija na tržištu kapitala sa ciljem osiguranja adekvatne osnove za proces planiranja i predviđanja budućih ulaganja i djelovanja na tržištu kapitala Bosne i Hercegovine. Cilj rada jeste, kroz korelacionu analizu indikatora tržišta kapitala i informacija iz finansijskih izvještaja ukazati na relevantne informacije za odlučivanje na tržištu kapitala te strukturiranje grupa najvažnijih elemenata finansijskih izvještaja i najvažnijih pokazatelja koji se dobiju korekcijama stavki elemenata finansijskih izvještaja.*

Ključne riječi: *korelaciona analiza, finansijski izvještaji, tržište kapitala*

Abstract: *This paper presents the procedure for a comprehensive selection of information presented in the financial statements of the companies on the capital market with the aim of providing an adequate basis for the planning and forecasting results of future investments and activities on the capital market of Bosnia and Herzegovina. The main aim of this paper is to point to relevant information and to structure the groups of the most important elements of the financial statements and the most important indicators for decision making process on the capital market that are obtained by correcting of the elements of the financial statements using correlation analysis of the capital market indicators and the information provided in the financial statements.*

Keywords: *correlation analysis, financial reports, capital market*

1. UVOD

Proces previđanja i planiranja budućih ulaganja na tržištu kapitala zahtijeva pravilan izbor i strukturiranje infomacija. Problemi procesa planiranja ogledaju se u obimu, dostupnosti, transparentnosti, pravovremenosti i kvaliteti informacija. Pravilno predviđanje zahtijeva, iz dostupnog okvira, izbor informacija relevantnih za pravilno i profitabilno djelovanje na tržištu kapitala. Osnovne informacije o poslovanju kotirajućih kompanija nalaze se u finansijskim izvještajima. Obzirom da finansijski izvještaji pružaju značajan obim informacija potrebno je ispitivati i pravilno izabrati one čije će kontinuirano praćenje i korištenje omogućiti pravilna i realna predviđanja budućih kretanja performansi na tržištu kapitala. Tržišna cijena dionice, obim ostvarenog prometa, obim obavljenih transakcija te broj prometovanih vrijednosnih papira predstavljaju informacije kojima se procjenjuju aktivnosti kompanija na tržištu kapitala, te isti čine osnovu za donošenje odluke o ulaganju na tržištu kapitala. Istraživanje je bazirano na ispitivanju povezanosti ovih indikatora sa osnovnim informacijama koje prezentuju finansijski izvještaji kotirajućih kompanija. Postojanje i značajnost povezanosti ukazati će na strukturu informacija koje su relevantne za predviđanje kretanja budućih performansi tržišta kapitala i predviđanje i planiranje budućih ulaganja. Istraživanje je provedeno na uzorku od 10 kompanija čijim se vrijednosnim papirima aktivno trgovalo na Sarajevskoj berzi u sedmogodišnjem periodu i to od 2010. do 2016. godine. Kriteriji za izbor kompanija u uzorak jesu: prosječni ostvareni promet na kotaciji kompanija i prvom subsegmetnu i dostupnost finansijskih izvještaja za minimalno sedam godina.

Na osnovu istraživanju efikasnosti tržišta i efikasnosti djelovanja subjekata na tržištu kapitala, Shiller (2000) u knjizi „Irrational Exuberance“ ispituje efikasnost djelovanja na tržištima kapitala ukazujući na nedovoljnost praćenja dividendi i zarada u procesu procjene i planiranja transakcija na tržištu kapitala. Istraživanje koje je proveo Malkiel (2003) ukazuju na rast efikasnosti tržišta kapitala ali i ograničenu mogućnost predviđanja budućih transakcija. Prema Schwertu (2003) istraživanje pokazuje da se efikasnost

tržišta povećava korištenjem strategija za pobjeđivanje tržišnih anomalija. Timmerman i Granger (2004) prognostičkim modelima nastoje ukazati na efikasnost i elemente efikasnosti tržišta kapitala. Malkiel (2005) dokazuje da cijene dionica u osnovi odražavaju sve dostupne informacije. Brzaković (2007) ukazuje na činjenicu da je svaka investiciona politika odraz ogovarajućeg rizik-profit profila investitora te potrebe za likvidnošću, generisanjem prinosa te poreskom pozicijom. Ramljak i Anić- Antić (2009) nastoje strukturirati relevantne informacije potrebne institucionalnim investitorima u procesu donošenja odluka na tržištu kapitala ukazujući na obaveznu kontinuiranu analizi finansijskih izvještaja i praćenja podataka prezentovanih u istim.

2. INFORMACIONE POTREBE U PROCESU PLANIRANJA

Informacije o finansijskom položaju, finansijskoj usješnosti poslovanja te novčanim tokovima kompanija prezentuju se u zakonski propisanoj formi finansijskih izvještaja te poštujući zakonske odredbe i međunarodne standarde računovodstva i finansijskog izvještavanja. Međutim, korištenje finansijskih informacija izvorno iz finansijskih izvještaja može biti rizično u procesu procjene finansijskog stanja i uspješnosti poslovanja privrednih subjekata, te je potrebno kontinuirano analizirati finansijske izvještaje i tumačiti informacije prezentovane u finansijskim izvještajima. Različiti odnosi informacija iz zvaničnog seta finansijskih izvještaja čine odgovarajuće skupine pokazatelja analize finansijskih izvještaja. Finansijski pokazatelji analize finansijskih izvještaja upotrijebljeni su u svrhu ocjene kvaliteta poslovanja kompanija odabranih u uzorak. Prikazani pokazatelji gupisani su u najznačajnije skupine dovoljne za ocjenu položaja i uspješnosti poslovanja kompanija. Svaki od pokazatelja ima svoje karakteristično tumačenje, te na specifičan način omogućava procjenu poslovanja. Pokazatelji analize finansijskih izvještaja pripremljeni i prezentovani uz finansijske izvještaje doveli bi do rasta kvaliteta finansijskih informacija. Najznačajniji analitički pokazatelji potrebni za kvalitetnu odluku o investiranju, prema Žager (1999) i Belak (2014) su sljedeći:

a) Pokazatelji likvidnosti i solventnosti poslovanja;
b) Pokazatelji profitabilnosti;
c) Pokazatelji efikasnosti poslovanja;
d) Pokazatelji investicionog potencijala.

Pored prethodno prikazanih osnovnih skupina pokazatelja, nužno je u obuhvatnom prikupljanju informacija procjenjivati i analizirati izvještaj o novčanim tokovima, te za buduće planove koristiti informacije koje se nalaze u analitičkim pokazateljima izvještaja o novčanim tokovima. Obzirom da ne postoji usaglašenost u izboru najadekvatnijih pokazatelja kada se govori o procjenama novačnih tokova to je kroz istraživanje analizirano nekoliko različitih, međusobno povezanih i usklađenih pokazatelja, kako bi se ustanovilo koji su od analiziranih elemenata najznačajnije korelirani sa indikatorima tržišta kapitala. Djelovanje na tržištu kapitala kao i planiranje i predviđanje budućih transakcija zavisi od pokazatelja koji su povratna informacija sa tržišta. Informacije i indikatori sa tržišta kapitala su obim ostvarenog prometa na tržištu kapitala, nivo tržišne kapitalizacije, kretanje tržišne cijene dionica, obim ostvarenih transakcija, broj prometovanih vrijednosnih papira te indeksi tržišta kapitala. Obzirom da je istraživanje na mikro nivou to skupni pokazatelji berzanskih indeksa i njihove tendencije nisu adekvatni sa procjenu informacija individualnih subjekata. Pokazatelj tržišne kapitalizacije jeste podatak koji se u strukturi dostupnih informacija ne ažurira redovno, te su u posmatranom periodu nedostajali određeni podaci, tako da u procesu istraživanja niti pokazatelj tržišne kapitalizacije nije korišten. U procesu istraživanja korišteni su podaci o obimu ostvarenog prometa (u KM), tržišnoj cijeni dionica, obimu obavljenih transakcija (kom) te broju prometovanih vrijednosnih papira. Proces istraživanja zasnovan je na ispitivanju postojanja i značajnosti korelacije svakog pojedinačnog indikatora tržišta kapitala i informacija iz finansijskih izvještaja te pokazatelja anlalize finansijskih izvještaja.

Pokazatelji likvidnosti i solventnosti sastoje se od 5 pokazatelja. Pokazatelji tekuće, trenutne i ubrzane likvidnosti (LS1-LS3) ukazuju na odnos tekućih sredstava razvrstanih prema brzini pretvorbe u novac i tekućih obaveza. Pokazatelji solventnosti jesu pokazatelj finansijske stabilnosti (LS4), tj. odnos dugoročne imovine i dugoročnih obaveza te neto radni kapital (LS5) koji je razlika tekućih sredstava i tekućih obaveza.

Pokazatelji profitabilnosti podijeljeni su u dvije skupine i to pokazatelji profitne marže i pokazatelji povrata. Pokazatelje profitne marže (PM1-PM3) čine odnosi strukture finansijskog rezultata iz bilansa uspjeha i prihoda od prodaje, ukazujući na profitabilnost osnovne djelatnosti. Pokazatelji povrata ROA i ROE ukazuju na povrat u obliku neto dobiti na imovinu odnosno na kapital.

Pokazatelji efikasnosti sastoje se od četiri pokazatelja KO1-KO4 gdje se obrt tekuće i ukupne imovine računa kao odnos ukupnog prihoda i ukupne odnosno tekuće imovine (KO1 i KO2) dok se obrt potraživanja računa kao odnos prihoda od prodaje i ukupnih potraživanja (KO3). Broj dana u godini u odnosu na koeficijent obrta potraživanja jeste indikator perioda naplate potraživanja (KO4).

Efikanost investiranja procjenjuje se na osnovu pokazatelja investiranja strukturiranih u sedam pokazatelja. Pokazatelji dobiti i dividende po dionici (INV1 i INV2) predstavljaju iznos neto dobiti i iznos dijela dobiti namjenjenog za isplatu dividendi u odnosu na broj redovono emitovanih dionica. Pokazatelj isplate dividendi predstavlja odnos dividende po dionici i dobiti po dionici označen sa INV3. Odnos tržišne cijene dionice i dobiti po dionici (INV4) pokazuje odnos cijene i zarade dok recipročna vrijednost ovog pokazatelja predstavlja ukupnu rentabilnost dionice (INV5). Dividendna rentabilnost dionice (INV6) jeste odnos dividende po dionici i tržišne cijene dionice. Sedmi pokazatelj investiranja jeste recipročna vrijednost dividendne rentabilnosti dionice (INV7).

Analiza novčanih tokova ukazuje na najznačajnije pokazatelje izvještaja o novčanom toku relevantne za planiranje i odlučivanje na tržištu kapitala. Strukturirani su kao pokazatelji novčanog toka i pokazatelji zasnovani samo na operativnom novčanom toku. Kvalitet dobiti (NT1) je odnos novčanog toka osnovne aktivnosti i finansijskog rezultata osnovne aktivnosti. Pokazatelj novčanog pokrića obaveza (NT2) ukazuje koliko od neto toka gotovine osnovne aktivnosti nakon isplate dividendi ostaje za pokriće obaveza. Pokazatelj novčanog povrata na kapital i obaveze (NT3) jeste pokazatelj neto toka osnovne aktivnosti u odnosu na ukupan kapital i obaveze. Pokazatelj novčanog toka po dionici (NT4) predstavlja odnos novčanog toka osnovne aktivnosti nakon isplate dividendi i broja emitovanih dionica. Pokazatelj operativnog novčanog taka ONT1 predstavlja odnos novčanog toka za nabavku dugoročne imovine i amortizacije te pokazatelj ONT2 predstavlja odnos neto operativnog toka i ukupnih obaveza.

3. KORELACIONA ANALIZA I PREDVIĐANJE ULAGANJA NA TRŽIŠTU KAPITALA

Korelacionom analizom osnovnih indikatora tržišta kapitala te informacija izvorno prezentovanih u osnovnom setu finansijskih izvještaja (novac, potraživanja, zalihe, stalna materijalna sredstva, stalna nematerijalna sredstva, kapital, dugoročne obaveze, kratkoročne obaveze, ukupni prihodi, finansijski rezultat, novčani tok osnovne aktivnosti, novčani tok ulagačke aktivnosti te novčani tok finansijske aktivnosti) utvrđeno je da ne postoji statistički značajna povezanost pomenutih elemenata kako sa tržišnom cijenom dionica tako ni sa obimom ostvarenog prometa, brojem transakcija i brojem vrijednosnih papira. Izvorno korištenje informacija prezentovanih u finansijskim izvještajima nije relevantno u procesu predviđanja tokova tržišta kapitala. Međutim, odnosi izvornih elemenata finansijskih izvještaja pružaju značajne informacije o poslovanju kompanija i njihovoj aktivnosti na tržištu kapitala. Stoga je potrebno kontinuirano analizirati finansijske izvještaje kako bi se, kroz odnose osnovnih elemenata dobila selekcija relevantnih indikatora za potrebe predviđanja i odlučivanja na tržištu kapitala.

Testiranje odnosa tržišne cijene dionica i pokazatelja likvidnosti

U procesu testiranja međuzavisnosti utvrđeno je da ne postoji statistički značajna povezanost izabranih pokazatelja likvidnosti i ostvarenog prometa, kao što ne postoji povezanosti niti sa brojem transakcija niti sa brojem prometovanih vrijednosnih papira.

Kada se govori o tržišnim cijenama dionica iz tabele br. 1 evidentno je da:

- postoji statistički značajna pozitivna korelacija tržišne cijene dionica i pokazatelja tekuće likvidnosti na nivou pouzdanosti od 99%,
- korelacija je negativna i statistički značajna na nivou pouzdanosti od 99% u kretanju pokazatelja finansijske stabilnosti i tržišne cijene dionica
- postoji statistički značajna pozitivna korelacija tržišne cijene dionica i pokazatelja ubrzane i trenutne likvidnosti na nivou pouzdanosti od 95% s tim da pokazatelj neto radnog kapitala nije značajno povezan sa kretanjem tržišne cijene dionica.

Tabela br. 1 Korelacija tržišne cijene dionica i pokazatelja likvidnosti

		LS1	LS2	LS3	LS4	LS5
Tržišna cijena dionice	Pearson Correlation	,377**	,226*	,280*	-,408**	-,096
	Sig. (2-tailed)	,001	,048	,014	,000	,407
	N	77	77	77	77	77

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Testiranje odnosa tržišne cijene dionica i pokazatelja profitabilnosti

Korelacionom analizom pokazatelja profitabilnosti i tržišne cijena dionica ustanovljeno je sljedeće:

- postoji statistički značajna pozitivna povezanost pokazatelja povrata na imovinu i tržišne cijene dionica, kao i povrata na kapital i tržišne cijene dionica i to na nivou pouzdanosti od 99%.
- pokazatelji profitne marže nisu statistički značajno povezani sa kretanjima tržišne cijena dionica na tržištu kapitala.

Tabela br. 2 Korelacija tržišne cijene dionica i pokazatelja profitabilnosti

		PM1	PM2	PM3	ROA	ROE
Tržišna cijena dionice	Pearson Correlation	,078	,040	,093	,409**	,322**
	Sig. (2-tailed)	,503	,728	,419	,000	,004
	N	77	77	77	77	77

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Istraživanje je pokazalo da većina kompanija koristi pokazatelje profitne marže u procesu procjene uspješnosti poslovanja, međutim, prethodno prikazana analiza ukazuje na nepostojanje međuzavisnosti ovih pokazatelja sa tržišnom cijenom dionica, te bi ove pokazatelje trebalo, u procesu planiranja aktivnosti na tržištu kapitala, eliminisati.

Testiranje odnosa tržišne cijene dionica i pokazatelja obrta imovine

U strukturi analitičkih pokazatelja finansijskih izvještaja, prema velikom broju istraživanja, nalaze se pokazatelji ekonomičnosti poslovanja kao značajni u procesu procjene uspješnosti poslovanja. Međutim istraživanje korelacionih odnosa sa indikatorima tržišta kapitala pokazalo je da ne postoji povezanost pokazatelja ekonomičnosti i indikatora tržišta kapitala, te su pokazatelji ekonomičnosti u procesu testiranja eliminisani i zamijenjeni pokazateljima obrta imovine.

Tabela br. 3 Korelacija tržišnih cijena dionice i pokazatelja obrta imovine

		KO1	KO2	KO3	KO4
Tržišna cijena dionice	Pearson Correlation	,237*	-,223	,235*	-,196
	Sig. (2-tailed)	,038	,051	,039	,088
	N	77	77	77	77

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Evidentno je, prema sprovednoj analizi da postoji statistički značajna pozitivna korelacija pokazatelja obrta ukupne imovine i tržišne cijena dionica, te pokazatelja obrta potraživanja i tržišne cijene dionica, na nivou značajnosti od 95% iako se u procesu procjene uspješnosti poslovanja, te u procesu planiranja i donošenja internih odluka, češće koristi pokazatelj obrta potraživanja u odnosu na pokazatelj obrta ukupne imovine.

Testiranje odnosa tržišne cijene dionica i pokazatelja investiranja

Tabela br. 4 pokazuje korelacionu matricu pokazatelja investiranja i tržišne cijene dionica za posmatrane subjekte. Prema prikazanoj analizi evidentno je da postoji statistički značajna korelacija pokazatelja dobiti po dionici i ukupne renabilnosti dionice u odnosu sa tržišnim cijenama dionica, a na nivou pouzdanosti od 99%

Tabela br. 4 Korelacija tržišne cijene dionice i pokazatelja investiranja

		INV1	INV2	INV3	INV4	INV5	INV6	INV7
Tržišna cijena dionice	Pearson Correlation	,622**	,157	-,133	-,108	,299**	-,111	,102
	Sig. (2-tailed)	,000	,173	,249	,348	,008	,339	,377
	N	77	77	77	77	77	77	77

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Obzirom da se ukupna rentabilnost dionice računa kao odnos dobiti po dionici i tržišne cijene dionica to onda čini pokazatelj dobiti po dionici značajnijim u izboru informacija za planiranje.

Testiranje odnosa tržišne cijene dionica i pokazatelja izvještaja o novčanim tokovima

Pokazatelji novčanog toka računaju se upotrebom različitih kombinacija iznosa objavljenih u izvještaju o novčanom toku uz identična tumačenja. Obzirom da ne postoji jednoznačna analiza izvještaja o novčanim tokovima to je urađena korelaciona analiza različitih skupina pokazatelja novčanih tokova i utvrđeni pokazatelji koji imaju značajnu povezanost sa kretanjima tržišnih cijena dionica. U skupine relevantnih informacija izvještaja o novačnim tokovima spadaju: kvalitet dobiti, novčano pokriće obaveza, povrat na kapital i obaveze te pokazatelji operativnog novčanog toka koji predstavljaju odnose zasnovane na informacijama nabavke dugoročne imovine te izmirenja kratkoročnih obaveza.

Tabela br. 5 Korelacija tržišne cijene dionice i pokazatelja novčanih tokova

		NT1	NT2	NT3	NT4	ONT1	ONT2
Tržišna cijena dionice	Pearson Correlation	,270*	,278*	,251*	,651**	,289*	,247*
	Sig. (2-tailed)	,018	,014	,028	,000	,011	,030
	N	77	77	77	77	77	77

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Statistički značajna pozitivna korelacija evidentna je između prethodno navedenih pokazatelja i tržišne cijene dionica na nivou pouzdanosti od 95%, dok je pokazatelj novčanog toka po dionici značajan na nivou pouzdanosti od 99%, te uzimajući u obzir obuhvat podataka i način izračuna pokazatelja analize novčanih tokova, pokazatelj novčanog toka po dionici smatra se i najznačajnijim podatkom u analizi izvještaja o novčanim tokovima.

4. ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje zasnovano je na informacijama o poslovanju kompanija koje su javno dostupne te informacija o obimu i uspješnosti poslovanja na tržištu kapitala. Analizom ovih informacija cilj je bio pokazati koji su najznačajniji faktori u izboru kompanija i njihovih dionica u procesu trgovanja na tržištu kapitala te koje su informacije bitne u procesu procjene i planiranja budućih tokova i ulaganja na tržištu kapitala

Istraživanje je pokazalo da, planiranje i predviđanje aktivnosti na tržištu kapitala, ukoliko je zasnovano na finansijskim izvještajima, nužno je vršiti kroz kontinuirano praćenje kretanja cijena dionica. Osnovu predviđanja kretanja tržišnih cijena dionica nije moguće vršiti kroz osnovne informacije prezentovane direktno u finansijskim izvještajima. Informacije iz izvještaja potrebno je prestrukturirati te određene performanse predviđati na osnovu pokazatelja uspješnosti poslovanja kroz analizu finansijskih izvještaja, korištenjem seta sljedećih indikatora: tekuća likvidnost, ubrzana likvidnost, trenutna likvidnost, finansijska stabilnost, povrat na imovinu, povrat na kapital, obrt ukupne imovine, obrt potraživanja, dobit po dionici, ukupna renabilnosti dionice, kvalitet dobiti, novčano pokriće obaveza, povrat na kapital i obaveze, pokazatelj novčanog toka za nabavku dugoročne imovine i pokazatelj pokrića obaveza iz operativnog novčanog toka.

Istraživanja ovog tipa provedena na tržištu kapitala Hrvatske ukazuju na nužnost korištenja pokazatelja analize finansijskih izvještaja u procesu praćenja i predviđanja budućeg toka cijena dionica prema Aralica (2005) i Ramljak, Anić-Antić (2010). Rezultati istraživanja sprovedenih na preduzećima iz Slovenije ukazuju prema Kosi – Valentičić (2003) da se za razvijena tržišta češće koriste indikatori tržišta dok se pri praćenju kretanja cijena dionica na tržištima kapitala u razvoju češće koriste indikatori analize finansijskih izvještaja, s tim da postoji značajna povezanost pokazatelja analize finansijskih izvještaja i kretanja cijena dionica i na razvijenim i tržištima kapitala u razvoju.

Kontinuirano praćenje relevantnih odnosa pozicija finansijskih izvještaja doprinosi adekvatnosti predviđanja tržišnih cijena dionica a time i planiranja aktivnosti na tržištu kapitala u Bosni i Hercegovini. Rezultati sprovedenog istraživanja su u velikoj mjeri usaglašeni sa rezultatima sličnih istraživanja sprovedenih za tržišta kapitala zemalja regiona, te se kao takvi mogu smatrati generalnim stavovima za naznačeno područje i nisu specifičnost tržišta kapitala Bosne i Hercegovine.

LITERATURA

[1] Aralica, Z., Povezanost vrijednosti kapitala i odabranih pokazatelja u proizvodnim poduzećima Ekonomski pregled, 56 (12) 1190-1216, 2005.

[2] Belak, V., Analiza poslovne uspješnosti – 130 ključnih pokazatelja performanse i mjerila za kontroling, RRiF plus d.o.o. društvo za nakladništvo i poslovne usluge, Zagreb, 2014.

[3] Brzaković, T. Tržište kapitala – teorija i praksa, Čugura Print, Beograd 2007.

[4] Kosi, U., Valentičić, A., Accounting data and share returns in Slovenia, Fitfh International Conference on Enterprise in Transition, University of Split, 2003 –XVIII Split –Tučepi 2003.

[5] Malkiel, Burton G., Reflections on the Efficient Market Hypothesis: 30 Years Later, The Financial Review, 40(1), 2005.

[6] Malkiel, Burton G., The Efficient Market Hypothesis and Its Critics, Journal of Economic Perspectives, vol. 17, no. 1, 2003.

[7] Ramljak, B., Anić-Antić, P., Korelacija tržišne cijene dionica i uspješnosti poslovanja poduzeća, Ekonomski pregled, 61 (11) 666-682, 2010.

[8] Ramljak, B., Anić-Antić, P., Potrebe za informacijama institucionalnih investitora na tržištu kapitala Republike Hrvatske u procesu donošenja odluka o investiranju u dionice kotirajućih poduzeća, Ekonomski pregled 60(7), 2009.

[9] Shleifer, Andrei, Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance, New York, NY: Oxford University Press, 2000.

[10] Timmermann, Allan G. i Clive W. J. Granger, Efficient market hypothesis and forecasting, International Journal of Forecasting, 20(1), 2004.

[11] Žager, K., Žager, L., Analiza finansijskih izvještaja, Masmedia, Zagreb 1999.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

FORECASTING VOLATILITY OF BELEX15 MARKET INDEX USING A HYBRID ANN-GARCH MODEL

ANA MILOVANOVIĆ[1], RASTKO ANIČIĆ[2], ALEKSANDAR RAKIĆEVIĆ[3], ALEKSANDAR ĐOKOVIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, milovanovic712@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, rale.anicic@gmail.com
[3] Fakultet organizacionih nauka, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, aleksandar.djokovic@fon.bg.ac.rs

Abstract: *One of the most frequently used methods in volatility forecasting is the generalized autoregressive conditional heteroscedasticity (GARCH) model. However, because of the usually high forecasting errors, an artificial neural network (ANN) extension of the GARCH model was proposed. In this paper, the ANN-GARCH hybrid model is applied to forecast volatility of Belex15 market index from Belgrade Stock Exchange. The results showed that the hybrid ANN-GARCH model has more accurate forecasts than the GARCH in terms of mean square error.*

Keywords: *volatility forecasting, hybrid model, artificial neural network, GARCH model.*

1. INTRODUCTION

There has been a significant rise in importance of the risk measurement over the past decade, since the average return of the ten-percent is no longer accepted as the 'rule of thumb'. For that reason the demand for the improved forecasting models has grown.

Markowitz (1952) assumed that the returns are normally distributed and that the level of risk can be measured as the degree of standard deviation of the asset's returns. Since in the index time series variances of the error terms are not equal and it can be expected that they are larger in some points or ranges than for the others there is obvious presence of heteroscedasticity, as has been pointed out by Engle (2001). Since there is a degree of autocorrelation in the riskiness of the financial returns, there are commonly applied models like autoregressive conditional heteroscedasticity model (ARCH) and generalized autoregressive conditional heteroscedasticity model (GARCH) for providing a volatility forecast that is used for financial decisions making.

As has been illustrated by Engle (1982) the variance of the current error term depends on the previous error terms, so the predicted error term needs to be autoregressed under the heteroscedasticity assumption. This brings the requirement of the autoregression and conditional on the period forecast. Under this acknowledgment, there has been done a serious improvement of the forecasting capabilities of the traditional models. In addition to the ARCH model, Bollerslev (1986) added a moving average assumption and introduced the generalized ARCH model – GARCH.

In this paper, we propose the use of the traditional GARCH model combined with ANN to forecast Belex15[1] market index volatility. In order to improve forecasting and to possibly reduce the errors by catching the early volatility changes, we have introduced the artificial neural network (ANN) as a forecasting mechanism based on GARCH output. As it has been demonstrated by Hornik *et al.* (1989), ANNs are a class of universal approximators. We choose ANN have been chosen because of their ability to improve the forecasting performance of the GARCH models as demonstrated in paper by Kristjanpollera *et al.* (2014).

The reminder of this paper is organized as follows. In Section 2 we give a short literature review. Section 3 gives the detail description of methodology. Section 4 presents results while the conclusions are presented in Section 5.

2. LITERATURE OVERVIEW

Recently, there have been significant researches demonstrating the improved model performance by using artificial neural networks. For instance, Ormoneit and Neuneier (1996) is showed that the density estimating neural networks lead to better predictions in volatility of the DAX German index. Later on, Donaldson and

[1] Belex15 is a stock market index composed of the most liquid stocks in Belgrade stock exchange.

Kamstra (1997) used neural network in a combination of the GARCH model to forecast stock returns volatility in London, New York, Tokyo and Toronto and showed that ANN model had captured volatility effects overlooked by GARCH, EGARCH and GJR models. Further on, Roh (2007) proposed hybrid model with ANN and time series models for forecasting the volatility of stock price index from two points of view: deviation and direction and gained better performance measured by mean absolute error (MAE).

More studies have shown use of the artificial intelligence and financial models of forecasting the volatility like the one from Dhamija and Bhalla (2010) in which they confirmed that neural networks' forecasting performance are better than conditional heteroscedasticity models' volatility forecasts. Hajizadeh *et al.* (2012) used two hybrid models to forecast the volatility of S&P 500 index and compared results with EGARCH model obtaining better forecasts with second hybrid model whose inputs were series of the simulated data and explanatory variables. Vejendla and Enke (2013) compared the forecasting ability of the feed-forward neural network (FNN), recurrent neural network (RNN) and GARCH model on S&P 500, DJIA, NYSE and NASDAQ indices.

In the more recent study, Kristjanpoller *et al.* (2013) performed the testing of a hybrid ANN-GARCH model for volatility forecasting on three Latin-American stock exchange indices from Brazil, Chile and Mexico. The results have shown the improvement of the forecasting performance of GARCH models by using the ANN. By continued research, Kristijanpoller and Minutolo (2015) forecasted gold price volatility using the same hybrid model which resulted with a reduction of 25% mean average error of the GARCH method. Finally, Kristijanpoller and Minutolo (2016) have increased the volatility forecasting of oil price by using the ANN-GARCH model.

3. METHODOLOGY

In this paper we use the hybrid ANN-GARCH model proposed by Kristijanpoller and Minutolo (2016) to forecast the volatility of Belgrade Stock Exchange index BELEX15. The hybrid model consists of GARCH model and ANN.

The ARCH/GARCH models are the family of the well-know econometric models used for time series volatility forecasting. The first ARCH model was developed by economist Robert F. Engle in 1982, lately the winner of the Nobel Memorial Prize for Economics in 2003. The assumption of heteroscedasticity or clustering of variance, the phenomenon that the variance of error terms in data are not equal in whole sample, is the focus of GARCH model. The phenomenon of heteroscedasticity is especially important since the researchers have noticed it in financial time series, more precisely in stock market returns. Besides heteroscedasticity, GARCH process experiences heavy tails which is also valid for stock returns. All these characteristics of GARCH made it very popular in financial time series forecasting.

The ANNs are very powerful, non-parametric tool with wide range of applications. One of the most useful characteristics of the ANN is their ability to tolerate data with errors and to find nonlinear associations between model parameters. Each networks' node first aggregates its inputs in a linear manner using simple weighted sum, and then use activation function to make nonlinear relation between input variables and nodes output. Nodes are arranged in a layered structure, and each layer can be consisted of one or more nodes.

Following Kristijanpoller's and Minutolo's (2016) methodology, we use GARCH(1,1) with the autoregressive mean equation AR(1) to make initial volatility estimates. The following equations represent the time series model:

$$AR(1):\ \ r_t = c + \theta_1 r_{t-1} + \varepsilon_t \sigma_t\ , \tag{1}$$

$$GARCH(1,1):\ \ \sigma_t = \alpha_0 + \alpha_1 {\varepsilon_{t-1}}^2 + \beta_1 {\sigma_{t-1}}^2\ . \tag{2}$$

The initial volatility predictions made by GARCH(1,1) model is further forwarded to ANN model as input variable. We use dynamic neural network since it includes tapped delay lines, which are good for nonlinear filtering and prediction. The ANN has one hidden layer consisted of 10 neurons. Also, it has two delays and is trained in the open loop form. Open loop form is considered more efficient than closed loop form because of its ability to supply the network with correct past output as it is trained to produce correct current outputs. The training algorithm is the Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm.

Besides the GARCH predictions, ANN uses several other input variables. As input variables we consider two exchange rates – EUR/RSD and EUR/USD, and two stock market indices – S&P 500 and DAX. The EUR/RSD is a domestic exchange rate and as such has influence on Serbian economy and stock market. The EUR/USD is included as the global and most influential exchange rate and since Serbian economy is largely dependent on Euro currency and therefore influenced by its rate against American dollar. Also, we consider

two stock market indices – S&P 500 as the most influential index in financial world, and DAX because of the large German influence on Serbian economy.

To ensure "no overlapping" between input variables and reduce our input space, we calculate correlations between potential inputs (Table 1). Correlation matrix shows high positive correlation between the S&P 500 and DAX index returns, suggesting the potential for input space reduction. We decide to keep DAX and leave out S&P 500 as input variable, based on the assumption that German economy has much more influence on Serbian economy than the American counterpart.

Table 1: Correlation of all inputs and outputs

	EUR/RSD	EUR/USD	S&P 500	DAX
EUR/RSD	1,0000			
EUR/USD	0,2994	1,0000		
S&P 500	0,0119	-0,0619	1,0000	
DAX	-0,0455	-0,1040	0,6466	1,0000

So, the final ANN input variables are:

- daily variations of EUR/RSD and EUR/USD exchange rates,
- daily log returns of DAX stock market index and
- GARCH (1,1) realized volatility t+22 days forecast of Belex15 index.

Daily variations of the exchange rates are calculated as the simple differences between the highest and lowest daily prices. Moreover, the stock market log returns are calculated in the following way:

$$r_t = \log(\frac{P_t}{P_{t-1}}), \tag{3}$$

where P_t is an index price, r_t is the return or daily variation and t denotes daily observation.

The main target of the ANN is to forecast the realized volatility in the pricing, computed as the sample variance of the log returns in a 21-day window into the future – the same as in (Kristjanpoller & Minutolo, 2016):

$$RV_t = \frac{1}{21}\sum_{i=t+1}^{t+21}(r_i - \overline{r_t})^2 \tag{4}$$

4. DATA AND RESULTS

The dataset used in this study consists of daily prices for all input variables in the period from January 2011 until June 2017. In order to test the ANN extension of GARCH model, we separate the sample into training, validation and test dataset. The training set consists of 70% of the sample size, while validation and test sets include the remaining 30% of the sample size, divided 15% each.

Firstly, we implement GARCH(1,1) with AR(1) to forecast Belex15 volatility. The obtained predictions are shown in Figure 1. We can see from the figure that the model has caught the volatility clusters.

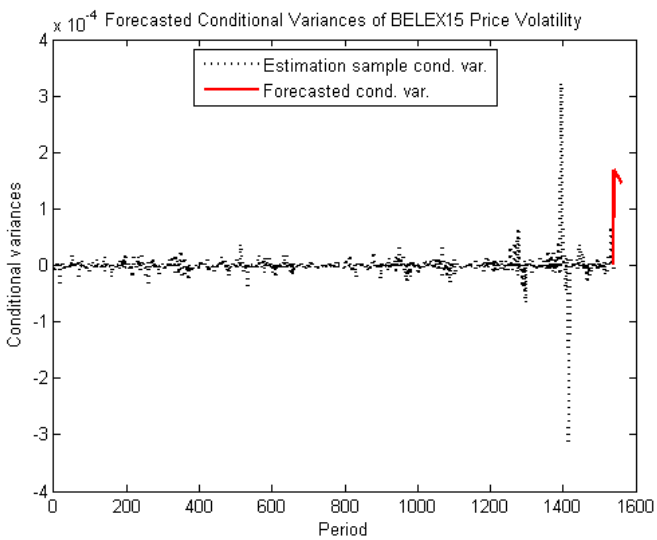


Figure 1: Forecasted 21-day variance GARCH(1,1) and AR(1)

Further, the obtained GARCH predictions are forwarded to ANN along with other input variables in order to obtain more accurate volatility predictions. After the input variables have been set, network is trained on the open-loop form with 2 delays. In each of the 10 simulations, the neural network gave better volatility forecasts in terms of mean square error (MSE). MSE is an average of the squared errors, more precisely, the difference between the estimator and what is estimated. Since it is the measure of the quality of the estimator, values that are closer to zero are considered better.

The error results of the ANN forecasts are given in Table 2. First column represents the number of simulation, while the second column shows the obtained MSE.

Table 2: ANN forecasting results

NO.	MSE
1	$2{,}47e^{-08}$
2	$9{,}09e^{-09}$
3	$2{,}30e^{-08}$
4	$1{,}14e^{-08}$
5	$1{,}54e^{-08}$
6	$2{,}00e^{-08}$
7	$1{,}23e^{-08}$
8	$1{,}85e^{-08}$
9	$1{,}93e^{-08}$
10	$1{,}40e^{-08}$

In order to find out whether the proposed hybrid improves GARCH predictions, we compare ANN and GARCH outputs with realized volatility and calculate MSE as a measure of forecasting quality. The following Table 3 shows that the ANN-GARCH hybrid is more accurate that the solely GARCH model.

Table 3: MSE of models without ANN

MODEL	MSE
GARCH (1,1) with AR(1)	$1{,}67e^{-06}$
ANN-GARCH	$1{,}68e^{-08}$

5. CONCLUSION

In this paper, we tested the hybrid ANN extension of the traditional volatility forecasting models, proposed by Kristjanpoller and Minutolo (2016), on Belgrade Stock Exchange data. We have confirmed the usefulness of the proposed hybrid model and supported their previous findings. Our results showed that the ANN-GARCH hybrid improves the forecasting results of the Belex15 index volatility in terms of the MSE. The best results were found in the 21-day volatility forecasts.

The advantage of the ANN-GARCH hybrid is that incorporates heteroscedastic concept and the learning from the past prediction errors. However, the limitations of the proposed model are, in fact, dependence of model performance on the quality of the data used as an input. The results are contingent of the historic data used as an input. This, fact also stands for all forecasting models.

Future research may be in the direction of testing and analyzing ANN extensions of other GARCH models such as EGARCH, IGARCH, T-GARCH, GJR.-GARCH and others.

REFERENCES

[1] Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 307-327.

[2] Dhamija , A., & Bhalla, V. (2010). Financial Time Series Forecasting: Comparison of Neural Networks and ARCH Models. *International Research Journal of Finance and Economics*.

[3] Donaldson, G. R., & Kamstra, M. (1997). An artificial neural network-GARCH model for international stock return volatility. *Journal of Empirical Finance*, 17-46.

[4] Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 987-1007.

[5] Engle, R. (2001). GARCH 101: The Use of ARCH/GARCH Models in Applied Econometrics. *The Journal of Economic Perspectives*, 157-168.
[6] Hajizadeh, E., Seifi, A., Zarandi, F. M., & Turksen, I. (2012). A hybrid modeling approach for forecasting the volatility of S&P 500 index return. *Expert Systems with Applications*, 431-436.
[7] Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 359-366.
[8] Kristijanpoller, W., & Minutolo, M. (2015). Gold price volatility: A forecasting approach using the Artificial Neural Network-GARCH model. *Expert Systems with Applications*, 7245-7251.
[9] Kristjanpoller, W., & Minutolo, M. (2016). Forecasting volatility of oil price using an artificial neural network-GARCH model. *Expert Systems With Applications*, 233-241.
[10] Kristjanpoller, W., Fadic, A., & Marcel, M. (2013). Volatility forecast using Neural Network models. *Expert Systems with Applications*, 2437-2442.
[11] Kristjanpollera, W., Fadic, A., & Marcel, M. (2014). Volatility forecast using hybrid Neural Network models. *Expert Systems with Applications*, 2437-2442.
[12] Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *Journal of Finance*, 77-91.
[13] Ormoneit, D., & Neuneier, R. (1996). Experiments in predicting the German stock index DAX with density estimating neural networks. *Computational Intelligence for Financial Engineering*.
[14] Roh, T. H. (2007). Forecasting the volatility of stock price index. *Expert Systems with Applications*, 916-922.
[15] Vejendla, A., & Enke, D. (2013). Evaluation of GARCH, RNN and FNN Models for Forecasting Volatility in the Financial Markets. *Journal of Financial Risk Management*, 41-49.

2017

LOGISTIKA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

UPRAVLJANJE KONFLIKTIMA U KANALIMA MARKETINGA

MANAGEMENT OF CONFLICTS IN MARKETING CHANNELS

JELENA KONČAR[1], ZITA PETROVIĆ KATAI[2]

[1] Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, koncarj@ef.uns.ac.rs
[2] Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, petrovickzita@ef.uns.ac.rs

Rezime: *Pojedini učesnici kanala marketinga ne deluju nezavisno u odnosu na ostale članove kanala marketinga čija uloga se tokom vremena menja. Menadžeri kanala marketinga teže minimiziranju konflikata u međuodnosima članova kanala. U realizaciji optimalne pozicije pojedinih učesnika kanala marketinga ne postoje jedinstveni stavovi na globalnom nivou. Upravljanje konfliktima u kanalima marketinga treba da doprinese podizanju efikasnosti kanala marketinga. Da bi se uspostavila ravnoteža proizvođača i trgovinskih preduzeća u kanalima marketinga neophodno je pristupiti merenju konflikata. Strategijom rešavanja konflikata stvara se koncept zajedništva članova kanala marketinga. Efikasnim upravljanjem konfliktima u kanalima marketinga kroz odabranu strategiju, uključujući određene mere i kompromise, dolazi do razrešenja konflikta.*

Ključne reči: *kanali marketinga, učesnici kanala marketinga, upravljanje konfliktima, merenje konflikata*

Abstract: *Some participants in marketing channels do not operate independently to the other individual members of the marketing channel, whose role changes over time. Managers of marketing channel weight to minimize conflicts in the interconnection of channel members. In realization of the optimal position of some participants in marketing channels there is no unified position on the global level. Conflict management in marketing channels should contribute to increasing the efficiency of marketing channels. To establish a balance of manufacturers and trading companies in marketing channels, it is necessary to access the measurement resolution. The strategy of conflict resolution creates the concept of community members of the marketing channel. Effective management of conflicts in marketing channels, through the chosen strategy, including specific measures and compromises comes to conflict resolution.*

Key words*: marketing channels, marketing channels members, conflict management, conflict measurement*

1. UVOD

Funkcionisanje globalne strukture kanala marketinga nameće pitanja pozicije pojedinih učesnika u kanalima marketinga. Posebno se apostrofiraju pitanja vezana za efikasnost kanala marketinga, konkurenciju između članova kanala marketinga, odnosno odnosa koje uspostavljaju članovi kanala marketinga na globalnom tržištu. Uloga pojedinih učesnika u kanalima marketinga nije konstantna i menja se tokom vremena. (Lovreta S., Končar J., Petković G., str. 223.)

Tržišna orijentacija i sve veća primena marketing koncepta utiče na poslovne odnose članova u kanalima marketinga. Učesnici kanala marketinga imaju zajednički interes koji se odnosi na minimiziranje konflikata i jačanje snage zajedništva između članova. Stoga se nameće potreba rešavanja sledećih pitanja:

- Koji su uzroci konflikata u kanalima marketinga?
- Kako se može izmeriti konflikt u kanalima marketinga?
- Da li je moguće definisati koncept efektivnog upravljanja konfliktima u kanalima marketinga?

Odgovori na navedena pitanja treba da doprinesu razrešavanju konflikata u kanalima marketinga. Merama i kompromisima između učesnika u konfliktu treba da se stvore mogućnosti pregovaranja između članova kanala marketinga.

2. UZROCI KONFLIKATA U KANALIMA MARKETINGA

Tradicionalni i on-line kanali obezbeđuju povezanost maloprodavca, snabdevača i kupaca, što doprinosi stvaranju multikanalnih međuodnosa. Menadžeri kanala fokusirani su na izgradnju efektivnog multikanala smatrajući da je dobit veća ukoliko je zastupljena povezanost sa kupcima kroz više kanala. Interaktivnost je tehnologija koja dozvoljava dvosmernu komunikaciju između trgovaca i potrošača. (Laudon K.C., Traver C.G., p. 55.) Interaktivnost sa kupcem u hijerarhijskim multikanalnim međuodnosima može uticati na povećanje nivoa konflikta.

Savremeni kanali marketinga prihvataju inovacije novih struktura i strategija u kanalima marketinga. Pritisak konkurencije na globalnom tržištu utiče na prodavce da se integrišu sa svojim krajnjim korisnicima u cilju njihovog opstanka. Sve veća zasićenost lokalnog tržišta i povećanje internacionalne trgovine u globalnim kanalskim sistemima primorava članove kanala marketinga da izgrade nove međuodnose. Fundamentalni uticaj Interneta i novih komunikacionih tehnologija uticao je na razvoj multikanalnih strategija. (Goworek H., McGoldrick P. p. 282.) Radi toga, partneri u kanalima marketinga primenjuju konzistentne multikanalne strategije poboljšanjem tehnoloških mogućnosti i većim internacionalnim pristupom, zahvaljujući Internetu.

Kanalski konflikt se javlja kada jedan član kanala vidi svog uzvodnog ili nizvodnog partnera kao protivnika ili oponenta. (Palmatier R., Stern L.W., El-Ansary A.I. p. 350.) Članovi kanala marketinga, kao strane u konfliktu, bore se za kontrolu jedan protiv drugog stremeći da zadrže svoju autonomiju.

Transformacija klasičnih maloprodavaca u multikanalske maloprodavce uključuje mnoge mogućnosti i izazove u integrisanju različitih kanala. (Trenz M. p. 22.) Pojavom elektronske trgovine na Web-u stvorili su se novi kanali koji su doveli do konflikata između članova kanala marketinga. Konflikt kanala se javlja kada novo mesto događaja za prodaju proizvoda ili usluga preti da uništi postojeća mesta događaja za prodaju proizvoda. (Laudon K.C., Traver C.G., p. 434.) Web je uticao i kreirao direktne kontakte proizvođača i potrošača što je dovelo do eliminisanja posrednika (npr. distributera, maloprodavaca).

Većina konflikata je u korenu razlika u 1) ciljevima članova kanala, 2) percepciji realnosti i 3) spoznajnom domenu ili području u kojem oni treba da budu sposobni da rade autonomno. (Palmatier R.W., Stern L.W., El-Ansary A.I., p. 356.) Svaki član kanala ima svoje ciljeve koji su različiti od ciljeva drugog člana kanala. Razlozi konflikata su nerazdvojivi od podele poslova i zadataka uzvodno i nizvodno u kanalu marketinga.

Postoji mnogo različitih konsekvenci konflikata u kanalima marketinga, ali se one mogu klasifikovati u sedam kategorija: nepodudarnost, resursi oskudice, perceptualne razlike, očekivane razlike, neslaganje u domenu odlučivanja, inkompatibilnost ciljeva i komunikacione teškoće. (Lovreta S., Končar J., Petković G., str. 225-227.) Nepodudarnost se objašnjava kroz set propisa koji se odnose na ponašanje pojedinih članova kanala marketinga. Resursi oskudice nastaju usled neslaganja između članova kanala oko alokacije nekih resursa za ostvarivanje ciljeva. Perceptualne razlike vezuju se za individualnu selekciju u sklopu kanala marketinga u odnosu na pojedine članove kanala, ali uz različitu interpretaciju stimulansa okruženja. Očekivane razlike vezuju se za predviđanja ili prognoze koje se tiču budućih ponašanja ostalih članova kanala marketinga. Neslaganja u domenu odlučivanja imaju za posledicu da pojedini članovi kanala marketinga određuju pojedinačno područje donošenja odluka. Sve to dovodi do inkompatibilnosti cilja, što utiče na naglašenost pojedinačnih ciljeva svakog kanala marketinga. Time se stvaraju komunikacione poteškoće i kanalski konflikti između članova kanala marketinga. Svi navedeni izvori konflikata sadrže još i mnoge poddimenzije koje se odnose na sukobe nad ulogom i sferama uticaja članova kanala marketinga.

3. MERENJE KONFLIKATA U KANALIMA MARKETINGA

Kanalski konflikt između članova kanala nastaje kada jedan član kanala vidi svog partnera kao protivnika na različitom nivou istog kanala marketinga. Konflikt u kanalskim međuodnosima čini proces čiji uzroci leže u odnosima snaga moći. Svaki član kanala marketinga ima svoj set ciljeva koji se razlikuju od ciljeva drugog člana kanala marketinga. Konflikt se javlja ukoliko jedan član utiče na ostvarivanje ciljeva drugog člana kanala marketinga. Konflikt u kanalima marketinga je u potpunosti direktan i personalan. Nedostatak komunikacije između učesnika u kanalima marketinga dodatno pogoršava konflikt.

Naglašena konkurencija utiče na promene i proširenja kanala marketinga jer je sve teže opsluživanje kupca samo putem jednog tipa kanala. Multikanalnost kroz različite tipove kanala doprinosi boljoj sopstvenoj diferencijaciji različitih brendova ili proizvoda. Tako esencijalna ponuda istog proizvoda pod drugačijim imenom brenda, zahvaljujući različitim kanalima predstavlja opštu strategiju nastupa u kanalima marketinga.

Prethodno navedeni mnogobrojni uzroci konflikata u kanalima marketinga, koji se odnose na neuspehe u procesima zajedničkog donošenja odluka, zahtevaju sve više sagledavanje merenja konflikata u kanalima marketinga.

Nivo konflikta u kanalskim međuodnosima treba da se sagleda kroz nekoliko koraka, kako bi se došlo do formiranja indeksa konflikta. Ti koraci su sledeći:

- Korak 1. Nabrajanje pitanja. Koja pitanja su relevantna za obe strane u kanalskim međuodnosima.
- Korak 2. Procena važnosti. Za svako pitanje mora postojati neka mera kako bi se ustanovila važnost u cilju postizanja profitabilnosti.
- Korak 3. Određivanje frekvencije neslaganja. Koliko često se dve strane ne slažu oko nekog pitanja.
- Korak 4. Merenje intenziteta rasprave za svako pitanje, koliko su udaljene dve strane. (Palmatier R.W., Stern L.W., El-Ansary A.I., p. 352.)

Na osnovu navedenih koraka dolazi se do formiranja indeksa konflikta (Palmatier R.A., Stern L.W., El-Ansary A.I., p. 352.):

$$Konflikt = \sum_{i=1}^{n}(važnost \times učestalost \times intenzitet) \quad (1)$$

Po navedenim koracima, za svako pitanje „*i*“ množenjem dolazimo do određene važnosti, učestalosti i intenziteta, a zatim se dodaju vrednosti za sva „*n*“ pitanja, kako bi se formirao indeks konflikta u kanalskim međuodnosima. Lociranjem pravih izvora konflikata u kanalima marketinga dolazi se do pronalaženja rešenja. Konflikt je funkcionalan kada vodi članove kanala marketinga ka poboljšanju svojih izvršenja. U principu, to navodi na zaključak da svi kanalski konflikti treba da budu funkcionalni.

Kanalski odnosi zavise od komunikacije i kooperacije između članova kanala marketinga, što znači da je neizbežno ustanoviti tačke suprotnosti konflikata. Kanalski partneri treba da ojačaju kooperaciju uz istovremenu stalnu tendenciju smanjenja konflikata. Konflikt treba da bude upravljan tako da svaki član kanala marketinga racionalno izabere ulazak u konflikt. To je neophodno usled činjenice da svaki član kanala ima svoje ciljeve koji se razlikuju od ciljeva drugog člana kanala.

Kanalsko izvršenje zavisi od uspostavljene komunikacije i kooperacije između članova kanala marketinga što znači da će se spoznati sve tačke suprotnosti koje dovode do konflikata. Konstantno visok nivo konflikata smanjuje satisfakciju organizacije i utiče na oštećenost dugoročnog partnerstva. Poverenje u kanalskog partnera je kritična osnova dugoročnog dobro uspostavljenog koordiniranog međuodnosa članova kanala marketinga. Suštinski svaki konflikt treba da bude upravljan tako da svaki član vrši racionalan odabir ulaska u konflikt.

Menadžeri kanala marketinga treba da imaju sposobnost predviđanja okolnosti koje utiču na podsticaj konflikta kako bi se na vreme prepoznale sve okolnosti koje utiču na visoku konfliktnost. Pri tome svaki učesnika u kanalu marketinga teži diferenciranju kroz mnogobrojne alternative u odnosu na tekuće partnere u kanalu.

4. KONCEPT EFEKTIVNOG UPRAVLJANJA KONFLIKTIMA U KANALIMA MARKETINGA

Međuzavisnost proizvođača i maloprodavaca neizbežno vodi njihovom konfliktu u kanalima marketinga. Samo harmonija i zajedništvo ciljeva i interesa u zadovoljavanju potreba i zahteva potrošača doprinosi postizanju većeg profita. Kooperacijom između učesnika u kanalima marketinga dolazi do ostvarivanja zajedničkog cilja kroz jačanje snage zajedništva članova kanala.

Kotler preporučuje nekoliko mehanizama za efikasno upravljanje konfliktima. Jedan je usvajanje zajedničkih ciljeva. Članovi kanala dogovore se o osnovnim ciljevima i oni zajedno teže ka tim ciljevima na tržištu, bilo da je u pitanju udeo na tržištu, zadovoljstvo kupaca ili visok kvalitet. (Ayaga D., Alabar T.T., p. 5.) Strategijom i konceptom efektivnog rešavanja konflikata stvoriće se i jačati snaga zajedništva članova kanala marketinga. Koncept efektivnog upravljanja konfliktima u kanalima marketinga treba da doprinosi ukupnoj efikasnosti kanala. Stoga se može izvesti zaključak da:

- konflikt predstavlja bitnu dimenziju ponašanja u kanalu marketinga;
- brojni uzroci zbog kojih nastaju konflikti predstavljaju fenomen koji prožima sve učesnike u kanalima marketinga;
- konflikt može uticati na efikasnost kanala marketinga i

- različiti nivo konflikta može da ima negativne ili, pak, pozitivne efekte na efikasnost kanala, ali isto tako, mogu biti i bez efekata. (Lovreta S., Končar J., Petković G., str. 228-229.)

Strategijom efektivnog upravljanja konfliktima otkrivaju se postojeći i potencijalni konflikti u kanalima marketinga. Sistemskim otkrivanjem kanalskog konflikta teži se sprečavanju negativnih efekata konflikta. Primenom revizije kanala marketinga dolazi do otkrivanja potencijalnih konflikata između članova kanala marketinga. Procena efekata konflikata pruža mogućnost menadžerima da razvijaju i definišu metode za merenje konflikata i njihovih efekata na efikasnost kanala marketinga. Merenje konflikata kroz formiranje indeksa konflikta ukazuje na procenu važnosti, određivanje frekvencija neslaganja kao i merenja intenziteta rasprave za svako pitanje kako bi se formirao indeks konflikta u kanalskim međuodnosima. Tek nakon toga uzimaju se aktivnosti razrešavanja konflikata u kanalima marketinga između članova kanala marketinga.

Vrsta kanala marketinga utiče na strategijski pristup razrešavanja konflikata. Alabar ukazuje na to da je glavni pristup rešavanju sukoba u kanalu sposobnost jednog člana kanala da utiče na ponašanje drugog člana prema drugima, tj. moć jednog člana kanala nad drugima. Chukwu navodi druge opcije rezolucija koje obuhvataju ubeđivanja, politička sredstva, pomirenja, posredovanje, istražne komisije, povlačenje i zajednički rad. (Ayaga, D., Alabar, T.T., p. 6.) Sve to ukazuje na činjenicu da razrešenje konflikata između članova kanala marketinga zahteva primenu određenih mera i kompromisa stvaranjem operativnih mogućnosti pregovaranja. Pregovaranjem u kanalima marketinga, kroz aktivnosti slanja i primanja informacija između pojedinih članova kanala marketinga, stvara se efikasan tok proizvoda i usluga.

Ostvarivanje koncepta efektivnog upravljanja konfliktima u kanalima marketinga u zavisnosti je od vrsta kanala marketinga. Merama i kompromisima između učesnika u konfliktu neophodno je definisati strategije za efektivno upravljanje konfliktima između članova kanala. Pregovaranjem kroz zajedničke akcije dolazi do rešavanja svih neslaganja između članova kanala marketinga koji se nalaze u ulozi prodavca ili kupca. Različiti ciljevi između učesnika kanala marketinga značajno utiču na probleme pregovaranja u kanalima. Osim toga, efikasnost se može ugroziti i različitim ponašanjem članova kanala marketinga u pregovaranju (jezik, vreme isporuke).

Efektivno upravljanje konfliktima zahteva intenzivne promene u kanalima marketinga:

- internacionalizaciju kanala marketinga,
- horizontalnu koncentraciju tržišta na svim nivoima kanala marketinga,
- razvoj vertikalno integrisanih marketing sistema,
- prihvatanje trgovinskog marketinga,
- porast savremenih tehnologija u funkcionisanju kanala marketinga i
- jačanje snage maloprodavaca u kanalima marketinga.

Izložene promene na globalnom tržištu, danas, obeležavaju osnovne funkcionalne i strukturne odnose kanala marketinga. Upravljanje konfliktima u kanalima marketinga treba da doprinese podizanju ukupne efikasnosti poslovanja kao i rešavanju konflikata između članova kanala marketinga.

5. ZAKLJUČAK

Upravljanje konfliktima u kanalima marketinga zahteva angažovanje velikog broja učesnika koji su u visokom stepenu međuzavisni. Uzroci konflikata leže u odnosima snaga. Osnovni uzroci konflikata u kanalima marketinga vezani su za nepodudarnost, resurse oskudice, perceptualne razlike, očekivane razlike, neslaganje u domenu odlučivanja, inkompatibilnost ciljeva i komunikacione teškoće.

Efektivno upravljanje konfliktima u kanalima marketinga treba da doprinese ukupnoj efikasnosti poslovanja. Merenje konflikata i njegovih efekata u kanalskim međuodnosima množenjem važnosti, učestalosti i intenziteta formira se indeks konflikta.

Iznalaženje pravih izvora konflikata u kanalima marketinga vodi ka funkcionalnom izvršavanju poslova i zadataka sa tendencijom i ciljem smanjivanja konflikata. Primenom određenih mera i kompromisom u dijalogu između učesnika u konfliktu dolazi se do strategije razrešavanja i efektivnog upravljanja konfliktima između članova kanala marketinga.

Konflikti između učesnika u kanalima marketinga su neizbežni, s obzirom na visoku međuzavisnost maloprodavaca i proizvođača. Navedeni uzroci konflikata vezuju se za odnose snaga moći i utiču na nastanak konfliktnog ponašanja u kanalima marketinga. Upravljanje konfliktima treba da doprinese postizanju ukupne efikasnosti kanala marketinga. Menadžeri konceptom uloge ukazuju na značaj moći i liderstva u vođenju kanala čiji zadatak se svodi na minimiziranje konflikata između članova kanala marketinga.

LITERATURA

[1] Ayaga, D., Alabar, T.T. (2015). Managing Channel Conflict for Enhanced Organizational Performance. Proceedings of the International Conference on Global Business, Economics, Finance and Social Sciences (GB15 Thai Conference) Bangkok, Thailand, Paper ID: T508.

[2] Goworek H., McGoldrick P. (2015). Retail Marketing Management, Principles and Practice. Harlow: Pearson.

[3] Končar, J. (2015). Menadžment maloprodaje. drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje, Subotica: Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici.

[4] Laudon, K.C., Traver C.G. (2013). E-commerce 2013. Business.Technology.Society. New Jersey: Pearson, Education, Limited.

[5] Laudon, K.C., Traver C.G. (2017). E-commerce 2016. Business.Technology.Society. Twelfth edition. New Jersey: Pearson, Education Limited.

[6] Lovreta S., Končar J., Petković G. (2013). Kanali marketinga, Trgovina i ostali kanali. peto dopunjeno izdanje, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet i Ekonomski fakultet u Subotici.

[7] Palmatier, R.W., Stern L.W., El-Ansary A.I. (2015). Marketing Channel Strategy. Eighth Edition, New York: Pearson Education Limited.

[8] Trenz M. (2015). Multichannel Commerce, A Consumer Perspective on the Integration of Phisical and Electronic Channels, London: Springer.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MIQP МОДЕЛ ЗА РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА ДОДЕЉИВАЊА КОМИСИОНИХ НАЛОГА

MIQP MODEL FOR SOLVING ORDER PICKING ASSIGNEMENT PROBLEM

ДРАЖЕН ПОПОВИЋ[1], НЕНАД БЈЕЛИЋ[2]

[1] Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Одсек за логистику, d.popovic@sf.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Одсек за логистику, n.bjelic@sf.bg.ac.rs

Резиме: *Комисионирање представља један од најинтензивнијих процеса у дистрибутивним складиштима и самим тим у себи садржи велике потенцијале за оптимизације пословања. Проблем додељивања комисионих налога на комисионере је значајан сегмент управљања комисионирањем пре свега због успостављања равномерне поделе посла, а која је предуслов за боље искоришћење ресурса и смањење застоја и незадовољства комисионера. У раду је предложен нелинеарни математички модел са квадратном функцијом циља за додељивање налога за комисионирање на комисионере у којем се врши минимизација одступања оптерећења комисионера по два критеријума (норме рада) и то по броју кутија и броју локација са којих се врши комисионирање.*

Кључне речи: *Нелинеарни математички проблем, проблем додељивања, комисионирање.*

Abstract: *Order-picking is one of the most intensive processes in distribution warehouses and therefore has great potential for optimization. The problem of assigning orders to pickers is a significant segment of order-picking management, primarily because of achieving the balance in work assignments among pickers, which is a prerequisite for better utilization of resources and the decrease of pickers dissatisfaction. The paper proposes a nonlinear mathematical model with a quadratic objective function for assigning orders to pickers in which the deviation of work intensity from norms among pickers is minimized by two criteria (work norms), by number of boxes and by number of picking locations.*

Keywords: *Non-linear mathematical model, assignment problem, order-picking.*

1. УВОД

У дистрибутивним центрима који опслужују малопродајне објекте један од најбитнијих процеса јесте комисионирање робе услед великог интензитета операција, као и све већег притиска у смислу смањења временских рокова односно скраћења времена комисионирања. De Koster et al. (2007) су дали детаљан преглед процеса комисионирања у складиштима. Такође, као последица велике концентрације дистрибутивних центара различите намене у одређеним индустријским зонама, потражња за комисионерима све више расте у односу на расположиву радну снагу у локалним насељима. Мањак расположиве радне снаге је поготову важан ако се зна да је потребно више месеци за обуку почетника у комисионера који може самостално да испуњава постављене норме рада. Самим тим, веома је важно добро организовати и равномерно расподелити налоге за комисионирање на комисионере ради смањења застоја у комисионирању и повећању ефикасности ради смањења трошкова складишта (Dekker et al. 2004), али и ради смањења одступања у количини посла између појединих комисионера. Доцније наведено је јако битно пошто у великом броју дистрибутивних центара комисионери имају одређену норму посла коју морају да испуне за пуну плату, а неправедна расподела посла може довести до незадовољства комисионера који су све више дефицитаран кадар и веома скуп за обуку.

У раду је представљен математички нелинеаран модел MIQP (engl. - Mixed-Integer Quadratic Programming) за решавање додељивана комисионих налога на комисионере где се врши минимизација квадрата одступања оптерећења комисионера по две дневне норме рада - број комисионираних кутија као примарна норма (од које зависи плата радника) и број позиција за комисионирање као секундарна норма која пре свега служи за равномерније оптерећење интензитета

посла. Оптимизација процеса комисионирања је област у којој постоји велики броја радова и истраживачких праваца. Један од новијих радова јесте рад Matusiak et al. (2017) у којем се врши оптимизацију додељивања комисионирања на раднике који се разликују по продуктивности. Међутим, по сазнањима аутора приступ минимизације одступања оптерећења између радника приликом додељивања комисионих налога није разматран у расположивој литератури и представља нови правац у истраживању посматране проблематике. Остатак рада је организован на следећи начин. Опис проблема је приказан у тачки 2. У тачки 3 је приказан MIQP model, док су тестне инстанце дате у тачки 4. Закључна разматрања су приказана у тачки 5.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Посматрани проблем додељивања комисионих налога на комисионере у складишту се решава за један период (смена, дан) унапред у ком је позната структура налога (колико налога треба комисионирати, број кутија по налозима, број позиција односно локација у комисионој зони са које треба узети робу), као што је то приказано на једном примеру у Табели 1. Налози за комисионирање се достављају дан раније од стране клијената, што је устаљена пракса у привреди. Комисионирање је секвенцијално, а један комисионер може имати више налога које треба завршити у својој смени (један по један). Један налог се може доделити једном комисионеру, односно није могућа подела налога на више комисионера. Такође, постоји историја обављеног посла у неком претходном периоду (више радних дана), односно подаци о просечним оптерећењима комисионера по питању две норме, као што је то приказано на примеру у Табели 2. Идеја предложеног MIQP модела јесте узимање у обзир историје оптерећења и у складу са тим додела налога на комисионера на такав начин да укупни просек одступања претходног и будућег оптерећења од норми буде минималан за све комисионере (комисионери који су били мање оптерећену у претходном периоду добијају веће оптерећење у наредном).

Као што је већ написано, прва норма, број кутија, је примарна док је друга норма број позиција (локација у комисионој зони) за комисионирање представља додатну норму којом се омогућава равномерна расподела интензитета посла. Наиме, није исто ако радник са две локације треба да узме 100 кутија или ако са 50 локација узме исти број кутија (други случај је са далеко већим интензитетом и потребним временом рада). Ове две норме су уобичајене у дистрибутивним складиштима за опслугу малопродајних објеката. Квадрат одступања у функцији циља MIQP се користи из два разлога. Прво, ако се раднику додели мање посла од норме онда му се онемогућава пуна зарада, а ако му се додели више посла онда може доћи до преоптерећења тог радника (поготову поредећи са другим радницима). Из тог разлога, и негативна и позитивна разлика у односу на норму није добра а дизањем на квадрат у оба случаја се добија позитивна вредност. Друго, са квадратом одступања у функцији циља уводимо нелинеаран раст вредности одступања што за последицу има смањење разлика између комисионера. На пример, ако постоје 3 комисионера где сваки има по 10 кутија веће оптерећење, такав случај је бољи него ако два комисионера имају увећано оптерећење за 1 кутију а трећи за 28 кутија. У оба случаја укупно одступање је 30 кутија, али је први случај "поштенији" према свим комисионерима. За први случај сума квадрата у функцији циља MIQP модела има мању вредност, 300 у односу на 786 за други случај.

3. MIQP МОДЕЛ

Ознаке и улазне величине:

i - налог, $i \in \mathrm{I}$

K_i - број кутија за налог i

P_i - број позиција (позиција означава локацију са које се узима роба у комисионој зони) у налогу i

j - комисионери, $j \in \mathrm{J}$

A_j - просечан број кутија дневно које је комисионирао радник j у претходном периоду

B_j - просечан број позиција дневно које је комисионирао радник j у претходном периоду

N^{A} - норма просек кутија по раднику по дану (смени)

N^{B} - норма просек позиција при комисионирању по раднику по дану (смени)

Променљиве одлучивања:

x_{ij} - бинарна променљива која узима вредност 1 ако налог i комисионира радник j, у супротном је 0

y^{A}_{j} - одступање радника j од норме кутија по раднику узимајући у обзир и претходне дане пословања
y^{B}_{j} - одступање радника j од норме позиција по раднику узимајући у обзир и претходне дане пословања
z^{A}_{j} - број кутија које треба да комисионира радник j у посматраном дану који се решава
z^{B}_{j} - број позиција које треба да обиђе радник j при комисионирању у посматраном дану који се решава

Функција циља:

$$\min \rightarrow \sum_{j \in J} \left(\left(y_j^{\mathrm{A}} \right)^2 + \left(y_j^{\mathrm{B}} \right)^2 \right) \tag{1}$$

Ограничења:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \tag{2}$$

$$z_j^{\mathrm{A}} = \sum_{i \in I} x_{ij} \cdot \mathrm{K}_i \quad \forall j \in J \tag{3}$$

$$z_j^{\mathrm{B}} = \sum_{i \in I} x_{ij} \cdot \mathrm{P}_i \quad \forall j \in J \tag{4}$$

$$y_j^{\mathrm{A}} = \frac{\left(\mathrm{A}_j + z_j^{\mathrm{A}} \right) - 2 \cdot \mathrm{N}^{\mathrm{A}}}{2} \quad \forall j \in J \tag{5}$$

$$y_j^{\mathrm{B}} = \frac{\left(\mathrm{B}_j + z_j^{\mathrm{B}} \right) - 2 \cdot \mathrm{N}^{\mathrm{B}}}{2} \quad \forall j \in J \tag{6}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad y_j^{\mathrm{A}} \wedge y_j^{\mathrm{B}} \in R, \quad z_j^{\mathrm{A}} \wedge z_j^{\mathrm{B}} \in Z^{+}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \tag{7}$$

Функција циља која минимизира суму квадрата одступања оптерећења комисионера (просечног оптерећења узимајући обзир претходно и будуће оптерећење) посматрајући две норме је дата изразом (1). Ограничења (2) дефинишу да један налог i мора бити додељен само једном комисионеру j. Ограничења (3) и (4) дефинишу целобројне позитивне променљиве које представљају обим посла комисионера исказан по броју кутија и позиција . Ограничења (5) и (6) дефинишу променљиве које представљају одступање оптерећења комисионера по броју кутија и позиција у односу на унапред дефинисане норме. Домен променљивих је дат са (7).

4. ТЕСТНЕ ИНСТАНЦЕ И РЕЗУЛТАТИ

Тестирање предложеног MIQP модела на случајан начин је генерисано 50 инстанци са следећим карактеристикама:

- 21 налог
- 7 комисионера
- норма број кутија износи 900, а норма број локација комисионирања износи 300
- за сваки налог i случајно се генерише број локација и кутија по Нормалној расподели $P_i \sim N(100, 30)$, $K_i \sim N(300, 80)$. У Табели 1 је дат пример једне инстанце са подацима у вези налога.
- за сваког комисионера j случајно се генерише укупан рад у претходном периоду по броју локација и кутија у следећем опсегу $A_j \sim [250,350]$, $B_j \sim [800,1000]$, равномерна расподела. У Табели 2 је дат пример једне инстанце са подацима у вези комисионера.

За решавање свих инстанци MIQP модела коришћен је софтвер CPLEX 12.6 на рачунару PC Intel(R) Core(TM) i3 CPU M380@2.53GHz са 6 GB RAM меморије. Резултати једне инстанце су приказани у Табели 3 (инстанца за коју су улазни подаци дати у Табелама 1 и 2), док су сумарни резултати за 50 случајно генерисаних инстанци дати у Табели 4.

Табела 1: Улазни подаци о налозима за комисионирање за једну инстанцу (број позиција и кутија по налозима)

i	P_i	K_i
1	91	272
2	81	500
3	100	335
4	94	262
5	115	200
6	137	425
7	95	310
8	149	284
9	112	390
10	128	247
11	95	347
12	67	258
13	125	131
14	150	396
15	169	390
16	48	325
17	85	292
18	81	247
19	77	208
20	155	275
21	116	306

Табела 2: Улазни подаци о комисионерима за једну инстанцу (просечан број позиција и кутија по радницима у претходном периоду)

j	A_j	B_j
1	308	850
2	256	962
3	253	940
4	252	894
5	326	941
6	290	808
7	282	816

Табела 3: Резултати MIQP модела за инстанцу из Табела 1 и 2

j	Додељени налози i	$\frac{\left(A_j + z_j^A\right)}{2}$	y_j^A	$\frac{\left(B_j + z_j^B\right)}{2}$	y_j^B
1	15, 16, 18	303.0	3.0	906.0	6.0
2	5, 9, 10	305.5	5.5	899.5	-0.5
3	1, 8, 21	304.5	4.5	901.0	1.0
4	6, 11, 13	304.5	4.5	898.5	-1.5
5	4, 7, 17	300.0	0.0	902.5	2.5
6	3, 12, 14	303.5	3.5	898.5	-1.5
7	2, 19, 20	297.5	-2.5	899.5	-0.5
		Avg = 302.6	$\frac{\sum_{j\in J}\left\|y_j^A\right\|}{7}=3.36$	Avg = 900.8	$\frac{\sum_{j\in J}\left\|y_j^B\right\|}{7}=1.93$

Табела 4: Сумарни резултати MIQP модела за 50 инстанци

Инстанца	$\frac{\sum_{j\in J}\left\lvert y_j^{\mathrm{A}}\right\rvert}{7}$	Одступање броја кутија у процентима	$\frac{\sum_{j\in J}\left\lvert y_j^{\mathrm{B}}\right\rvert}{7}$	Одступање броја позиција у процентима	Време рада CPLEX-а (секунде)
1	9.21	1.02%	10.57	3.52%	687.0
2	26.93	2.99%	13.57	4.52%	140.8
3	2.29	0.25%	2.71	0.90%	415.1
4	16.14	1.79%	2.07	0.69%	345.2
5	17.57	1.95%	7.43	2.48%	169.2
6	16.00	1.78%	2.36	0.79%	111.2
7	18.93	2.10%	17.43	5.81%	313.3
8	27.64	3.07%	3.29	1.10%	63.1
9	8.43	0.94%	11.79	3.93%	107.7
10	1.36	0.15%	3.57	1.19%	21.1
11	45.14	5.02%	18.93	6.31%	499.0
12	1.93	0.21%	3.36	1.12%	173.5
13	5.79	0.64%	8.00	2.67%	293.3
14	28.07	3.12%	6.36	2.12%	164.5
15	4.93	0.55%	2.64	0.88%	59.0
16	2.14	0.24%	5.36	1.79%	101.2
17	56.64	6.29%	3.00	1.00%	839.1
18	35.07	3.90%	7.79	2.60%	103.2
19	31.21	3.47%	10.00	3.33%	931.6
20	39.93	4.44%	18.21	6.07%	1281.8
21	12.64	1.40%	3.29	1.10%	187.9
22	7.36	0.82%	9.79	3.26%	398.0
23	6.50	0.72%	3.00	1.00%	61.4
24	35.43	3.94%	14.86	4.95%	285.6
25	43.14	4.79%	16.00	5.33%	254.4
26	44.57	4.95%	15.57	5.19%	489.2
27	32.86	3.65%	4.57	1.52%	235.0
28	4.00	0.44%	8.21	2.74%	85.6
29	27.50	3.06%	16.57	5.52%	107.4
30	39.64	4.40%	14.29	4.76%	198.9
31	13.57	1.51%	2.21	0.74%	90.3
32	12.57	1.40%	12.07	4.02%	79.4
33	10.21	1.13%	10.57	3.52%	136.0
34	18.86	2.10%	2.14	0.71%	164.8
35	11.93	1.33%	15.21	5.07%	350.6
36	11.57	1.29%	12.21	4.07%	237.6
37	59.86	6.65%	8.50	2.83%	685.1
38	21.21	2.36%	11.43	3.81%	394.9
39	22.64	2.52%	7.21	2.40%	1171.1
40	38.21	4.25%	8.64	2.88%	412.8
41	18.71	2.08%	10.36	3.45%	157.7
42	4.57	0.51%	15.71	5.24%	42.1
43	13.93	1.55%	9.64	3.21%	238.9
44	8.07	0.90%	4.71	1.57%	189.6
45	36.71	4.08%	13.00	4.33%	172.8
46	33.64	3.74%	10.43	3.48%	681.2
47	14.93	1.66%	10.93	3.64%	190.4
48	2.29	0.25%	21.07	7.02%	46.3
49	20.50	2.28%	2.14	0.71%	241.0
50	2.36	0.26%	2.86	0.95%	89.3
Просек	***19.77***	***2.28%***	***9.11***	***3.04%***	***297.9***

5. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљен математички модел за додељивање налога за комисионирање на комисионере у дистрибутивном складишту са функцијом циља која минимизира одступање оптерећења међу комисионерима у односу на две норме рада, број кутија и позиција са којих се врши комисионирање.

Резултати у Табели 4 показују да MIQP модел даје решења са малим одступањем оптерећења између комисионера по две норме рада. У просеку за 50 инстанци одступање броја кутија по раднику износи око 20 кутија или 2.28% у односу на норму, док одступање броја локација по раднику износи око 9 локација или 3.04% у односу на норму. Нешто веће процентуално одступање по норми број локација у односу на норму број кутија лежи у већим апсолутним вредностима норме (900 у односу на 300) па функција циља примарно оптимизује одступање по норми број кутија.

Такође, у Табели 4 видљиво је да предложени MIQP модел решава инстанце са 21 налогом и 7 комисионера у прихватљивом времену рада рачунара. Међутим, пошто је проблем додељивања НП тежак проблем, инстанце већих димензија (око 100 комисионера и 300 налога на дан) које се јављају у пракси није могуће решавати у прихватљивом времену рада рачунара. Односно, за решавање посматраног проблема већих димензија које се могу наћи у већим дистрибутивним складиштима неопходан је развој хеуристичког приступа.

НАПОМЕНА

Овај рад је подржан од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, пројекат ТР 36006, за период 2011-2017.

ЛИТЕРАТУРА

[1] R. Dekker, M. B. M. de Koster, K. J. Roodbergen, H. van Kalleveen, (2004) Improving Order-Picking Response Time at Ankor's Warehouse. Interfaces 34(4), 303-313.

[2] Rene de Koster, Tho Le-Duc, Kees Jan Roodbergen, (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. European Journal of Operational Research 182 (2007), 481–501.

[3] Marek Matusiak, Rene de Koster, Jari Saarinen, (2017). Utilizing individual picker skills to improve order batching in a warehouse. European Journal of Operational Research (2017), doi: 10.1016/j.ejor.2017.05.002.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PROJEKTOVANJE POVRATNO LOGISTIČKE MREŽE ZA MOBILNE TELEFONE

REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN FOR MOBILE PHONES

BRANISLAVA RATKOVIĆ[1], ALEKSANDRA ČOLOVIĆ[2]

[1] Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, b.ratkovic@sf.bg.ac.rs
[2] Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, colovicaleksandra92@gmail.com

Rezime: *U ovom radu je predstavljen mogući pristup za projektovanje povratno logističke mreže za jednu vrstu e-otpada (mobilne telefone) formulisan kao model mešovitog celobrojnog linearnog programiranja (eng.MILP model). Predloženi MILP model ima za cilj minimizaciju ukupnih troškova preko određivanja broja i lokacija reciklažnih centara, broja i lokacija skladišnih objekata u kojima se vrši testiranje i sortiranje vraćenih mobilnih telefona, a na osnovu kojih se vrši dalja alokacija tokova bilo ka sekundarnom tržištu prodaje bilo ka reciklažnim centrima. Model je testiran na primeru Republike Srbije.*

Ključne reči: *modeliranje, MILP, logistička mreža, mobilni telefoni, povratni tokovi.*

Abstract: *This paper presents posible approach for reverse logistics network design for one type of e-waste (mobile phones) formulated as mixed integer linear programming (MILP). Proposed model minimizies total costs of the system through determing number and locations of reczcling centers, number and locations of storage facilities in which testing and srting operations are carried. After operations of testing and sorting are done, mobile phones are allocate either to secondarz markets or reczcling facilities. Model wast tested on the example of Republic of Serbia teritory.*

Keywords: *modeling,MILP, logistics network,mobile phones, reverse flows.*

1. UVOD

Elektronski i električni otpad (e-otpad) spada u tokove otpada koji beleže najveću stopu rasta u razvijenim zemljama. Tokom 2005. godine samo u Evropskoj Uniji (EU) generisano je oko 9 miliona tona e-otpada i očekuje se da će količine ove vrsta otpada do 2020. godine dostići 12 miliona tona (http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm).

U e-otpad spadaju brojni proizvodi poput mobilnih telefona, računarske opreme, malih i velikih kućnih aparata, itd. i kao takav e-otpad predstavlja kompleksnu mešavinu materijala, supstanci i komponenti od kojih neke spadaju u opasne materije. U tom smislu, neophodno je pravilno upravljanje tokovima e-otpada na način koji je društveno i ekološki prihvatiljiv. Kao prvi korak u rešavanju problema upravljanja tokovima e-otpada, EU je donela WEEE Direktivu (Direktiva 2002/96/EZ), koja je, između ostalog definisala količine e-otpada koju svaka od zemalja članica ima obavezu da sakupi na godišnjem nivou (4kg/stanovniku/godišnje). Međutim, kako su se nauka i tehnologija razvijale i kako su na tržište plasirani potpuno novi elektronski i električni aparati, koji su u određenom trenutku vremena završavali u tokovima otpada, EU je predložila da se ova Direktiva revidira. To je rezultiralo novom Direktivom (2012/19/ES) koja je stupila na snagu tokom 2014.god. i koja je postavila ambicioznije ciljeve za e-otpad po pitaju sakupljenih količina i procesa obnovljanja sakupljenog e-otpada.

Kako bi se ispunili ciljevi definisani Direktivama EU, potrebno je projektovati odgovarajuću logističku mrežu koja će obezbediti da e-otpad bude sakupljen i tretiran na zakonski i ekološki prihvatljiv način. E-otpad, pored kompleksnosti po pitanju broja aparata koja ga čine i materijala koji ulaze u njegov sastav, ima jos jednu dodatnu karakteristiku a to je da on predstavlja povratni tok proizvoda. Povratni tokovi proizvoda ispostavljaju nove zahteve pred logističkom mrežom jer je potrebno uvesti nove učesnike u logističku mrežu kao i nove funkcije poput sakupljanja povratnih tokova proizvoda, njihovog tretmana (reciklaže, ponovne upotrebe itd.) ali i potpuno nove objekte poput kontejnera za sakupljanje povratnih tokova proizvoda, objekata za tretman, itd. U tom smislu, potrebno je postojeću logističku infrastrukuru prilagoditi zahtevima povratnih tokova proizvoda ili projektovati potpuno novu mrežu povratne logistike.

U literaturi se može pronaći veliki broj radova koji se bave projektovanjem povratno-logističke mreže za različite vrste povratnih tokova proizvoda, ali kako je tema ovog rada projektovanje logističke mreže za e-otpad, u nastavku će biti dat kraći pregled literature vezan za povratno-logističke mreže e-otpada.

Kilic i ostali (2015) su predložili model celobrojnog mešovitog linearnog programiranja (eng. MILP) za projektovanje povratno-logističke mreže u Turskoj za e-otpad. Autori su rešavali model za unapred definisanih 10 scenarija u zavisnosti od stope povratka e-otpada. Povratni tokovi prozvoda kao i optimalne lokacije objekata su određene rešavanjem svih 10 definisanih scenarijam mada su autori posmatrali reciklažu kao jedini vid tretmana e-otpada. Aras i ostali (2015) su se bavili određivanjem lokacija reciklažnih fabrika za e-otpad u Turskoj, za tri vrste proizvoda: desktop računare, laserske i inkjet štampače, formulišući model kao dvo-fazni model stohastičkog programiranja. Achillas i ostali (2010) su razvili sistem za podršku odlučivanju baziran na MILP modelu za optimizaciju povratno loističke mreže koja se sastoji od mesta sakupljanja e-otpada i reciklažnih fabrika. Ovaj sistem je testiran u Grčkoj, u regionu Centralne Makedonije. Primeri projektovanja provratno logističkih mreža za e-otpad se mogu pronaću u radovima (Assavapokee i Wongthatsanekorn, 2012; Cruz-Rivera i Ertel, 2009;Shih, 2001, itd.).

U ovom radu je predstavljen mogući pristup za projektovanje povratno logističke mreže za jednu vrstu e-otpada (mobilne telefone) formulisan kao MILP model, preko određivanja broja i lokacija reciklažnih centara, broja i lokacija skladišnih objekata u kojima se vrši testiranje i sortiranje vraćenih mobilnih telefona, a na osnovu kojih se vrši dalja alokacija tokova bilo ka sekundarnom tržištu prodaje bilo ka reciklažnim centrima. Predloženi MILP model ima za cilj minimizaciju ukupnih troškova i sam model je testiran na primeru Republike Srbije. Ideja samog problema je potekla od rada Kilic i ostali (2015), međutim sama matematička formulacija je značajno modifikovana i prilagođena problemu koji je rešavan.

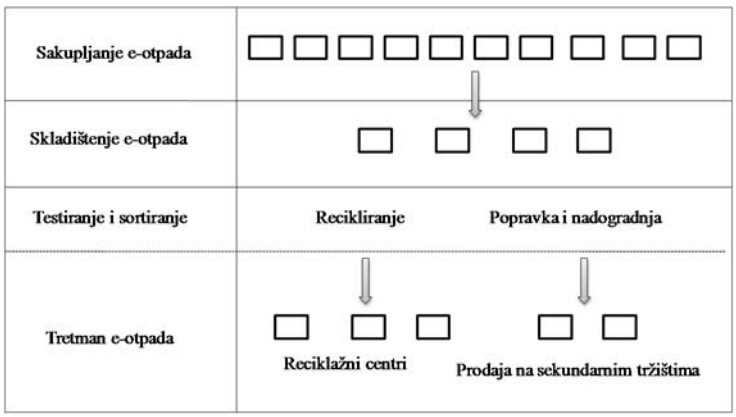
U nastavku rad je organizovan na sledeći način. U tački 2. opisan je posmatrani problem i predstavljena je matematička formulacija problema, dok su u tački 3, predstavljeni numerički rezultati dobijeni rešavanjem formulisanog modela. Na kraju, u tački 4. predstavljena su zaključna razmatranja i dati budući pravci daljeg istraživanja.

2. OPIS PROBLEMA

Mobilni telefoni, prema EU Direktivi 2012/19/ES, spadaju u treću kategoriju e-otpada (IT uređaji). Brze promene u tehnologiji i tehnici obezbeđuju bolje i sofisticiranije modele mobilnh telefona i time možemo reći primoravaju krajnje korisnike da menjaju svoje mobilne aparate češće, iako su oni i dalje u potpuno funkcionalnom stanju. Za posledicu imamo sve veće količine mobilnih aparata koji završavaju u tokovima otpada, iako neki od njih imaju određenu komercijalnu vrednost, što znači da se neki od njih na neki način mogu obnoviti.

Imajući u vidu rečeno, u ovom radu je predstavljen MILP model kao jedan od mogućih načina za uspostavljanje povratno logističke mreže za mobilne telefone, koja je predstavljena slikom 1. Naime, generisane količine mobilni telefona se sakupljaju od krajnjih korisnika, a kao lokacije sakupljanja su izabrane specijalizovane radnje za prodaju mobilnih teleona. Zatim se sakupljene količine mobilnih telefona transportuju do lokacija skladišta u kojima se vrši testiranje i sortiranje. Kroz procese testiranja se utvrđuje kvalitet mobilnih telefona, na osnovu čega se vrši dalje sortiranje i definisanje opcija za dalji tretman mobilnih telefona. Ukoliko se radi o proizvodima koji su funkcionalni ili čija se upotrebna vrednost može značajno povećati kroz procese popravke ili nadogradnje, proizvodi se mogu prodavati kao polovni na sekundarnim tržištima. Međutim, ukoliko su proizvodi značajno lošijeg kvaliteta, takvog da se pomoću prethodno pomenutih procesa ne mogu vratiti u funkcionalno stanje, proizvodi se transportuju do reciklažnih centara. Cilj opcija nadogradnje i popravke mobilnih telefona, a zatim njihove prodaje na sekundarnim tržištima, je produženje upotrebnog veka proizvoda i samim tim smanjenje količina mobilnih telefona koji završavaju u tokovima otpada. Cilj opcije reciklaže je dobijanje sirovina za proizvodnju novih proizvoda, kroz rastavljanje proizvoda na delove, komponente i materijale koji mogu imati veliku upotrebnu vrednost.

Matematički model, predstavljen u ovom radu, određuje optimalne lokacije skladišta i objekata za reciklažu kao i alokaciju generisanih količina e-otpada u zavisnosti od opcije tretmana, ima za cilj minimizaciju ukupnih troškova povratno-logističke mreže.



Slika 1. Povratno-logistička mreža za mobilne telefone

U nastavku su dati skupovi, parametri i promenljive odlučivanja korišćene za formulaciju modela:

Skupovi

Lokacije sakupljanja $i_1, i_2 \dots i_n, \forall i \in I$

Lokacije skladištenja $j_1, j_2 \dots j_n, \forall j \in J$

Lokacije reciklaže $p_1, p_2 \dots p_n, \forall p \in P$

Sekundarna tržišta $k_1, k_2 \dots k_n, \forall k \in K$

Parametri:

Q_I- količina koja je generisana u lokacijama sakupljanja i ∈I

D_{IJ}- rastojanje između lokacija sakupljanja i ∈I i lokacija skladištenja j∈J

t_{ij}- transportni troškovi od lokacija sakupljanja i ∈I do lokacija skladištenja j∈J

F_j- troškovi otvaranja lokacija skladištenja j

R_i- prihodi koji se ostvaruju od prodaje i reciklaže sakupljenih količina Qi

C_j d– troškovi skladištenja i čuvanja sakupljenih količina po danu u lokacijama *j*

Q_{jk}-količina otpada koja se transportuje od lokacije skladištenja j do sekundarnih tržišta k

t_{jk}- transportni troškovi od lokacija skladištenja j∈J do sekunadrnih tržišta k∈K

D_{jk}-rastojanje između lokacija skladištenja j ∈J i sekundarnih tržišta k∈K

Q_{jp}-količina otpada koja se transportuje od lokacija skladištenja do reciklažnih centara p

t_{jp}- transportni troškovi od lokacija skladištenja j do reciklažnih centara p

D_{jp}- rastojanje između lokacija skladištenja j i reciklažnih centara p

F_p- troškovi otvaranja reciklažnih centara p

h_p - operativni troškovi recikliranja u reciklažnim centrima p

B_j- kapacitet skladišnog objekta j

B_p- kapacitet reciklažnog centra p

V_j- tražnja u izabranim skladišnim lokacijama opsluživanja j

V_k- tražnja koju je potrebno zadovoljiti na sekundarnim tržištima k

V_p- tražnja koju je potrebno zadovoljiti u reciklažnim centrima p

Promenljive odlučivanja

$$X_{ij} \in \begin{cases} 1, ako\ se\ skladište\ j\ opslužuje\ iz\ lokacije\ i \\ 0, ako\ nije \end{cases}$$

$$Y_j \in \begin{cases} 1, \text{ako je } j \text{ izabrana lokacija skladištenja} \\ 0, \text{ako nije} \end{cases}$$

$$Y_p \in \begin{cases} 1, \text{ako je } p \text{ izabran centar za recikliranje} \\ 0, \text{ako nije} \end{cases}$$

$$\text{Min} \sum_i \sum_j Q_i X_{ij} D_{ij} t_{ij} + \sum_j F_j Y_j - \sum_i R_i Q_i + \sum_j X_{ij} Q_i C_j d + \sum_j \sum_k Q_{jk} t_{jk} D_{jk} - \sum_k R_k Q_{jk} + \sum_j \sum_p Q_{jp} t_{jkp} D_{jp} + \sum_p F_p Y_p + \sum_p Q_{jp} h_p \quad (1)$$

Pri ograničenjima:

$$\sum_j Q_i X_{ij} \leq B_j Y_j \ , \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_i X_{ij} = 1 \quad , \quad \forall i \in I \tag{3}$$

$$\sum_j X_{ij} \geq 1, \forall j \in J \tag{4}$$

$$\sum_j Q_i X_{ij} \geq V_j \quad , \quad \forall j \in J \tag{5}$$

$$\sum_k Q_{jk} = V_k \quad , \forall k \in K \tag{6}$$

$$\sum_j Q_i X_{ij} \geq Q_{jk}, \quad \forall j \in J, \forall k \tag{7}$$

$$\sum_j Q_i X_{ij} \geq \sum_j Q_{jk} + Q_{jp} \, , \quad \forall j \in J \tag{8}$$

$$Q_{jk} + Q_{jp} = Q_i \, , \quad \forall j, \forall p, \forall k \tag{9}$$

$$\sum_p Q_{jp} \leq B_P Y_P \quad , \forall p \in p \tag{10}$$

$$\sum_p Q_{jp} \geq V_P \quad , \forall p \in p \tag{11}$$

$$X_{ij} \in \begin{cases} 1, ako\ se\ skladište\ j\ opslužuje\ iz\ lokacije\ i \\ 0, ako\ nije \end{cases} \tag{12}$$

$$Y_j \in \begin{cases} 1, ako\ je\ j\ izabrana\ lokacija\ skladištenja \\ 0, ako\ nije \end{cases} \tag{13}$$

$$Y_p \in \begin{cases} 1, ako\ je\ p\ izabran\ centar\ za\ recikliranje \\ 0, ako\ nije \end{cases} \tag{14}$$

$$Q_{JP}, Q_{jk} \geq 0 \tag{15}$$

Funkcija cilja (1) minimizira ukupne troškove transporta, troškove otvaranja lokacija skladištenja i reciklažnih centara, kao i troškove čuvanja robe u skladištu i operativne troškove rada reciklažnih centara. Ograničenje (2) obezbeđuje da količina e-otpada koja se transportuje od lokacija sakupljanja *i* do lokacija skladištenja *j* ne bude veća od kapaciteta skladišnih objekata. Ograničenje (3) obezbeđuje da se količina mobilnih telefona od lokacija sakupljanja *i* transportuje do jedne od izabrane lokacija skladištenja *j*. Četvrto ograničenje govori o tome da se u jednoj od izabranih lokacija skladištenja mogu nalaziti količine mobilnh telefona prikupljene sa više lokacija sakupljanja *i*. Ograničenje (5) se odnosi na tražnju u skladišnim objektima *j* koja se mora zadovoljiti kako bi se realizovao transport od lokacija sakupljanja *i* do izabranih lokacija skladištenja *j*. Nakon skladištenja robe, roba se šalje do reciklažnih centara i sekundarnih tržišta. Na sekundarnim tržištima postoji potražnja koju je potrebno zadovoljiti. O tome govori ograničenje (6). Ograničenje (7) govori o tome da količine koje se transportuju od skladišta do reciklažnih centara moraju biti manje od ukupne količine koja se nalazi u skladištima, dok ograničenje (8) ukazuje da ukupna količina koja se transportuje od skladišta *j* do reciklažnih centara *p* i sekundarnih tržišta *k* mora biti manja od količine moblinih telefona koja se nalazi u tom skladištu. Ograničenje (9) ukazuje da ukupna transportovana količina do reciklažnih centara *p* i sekundarnih tržišta *k* mora biti ukupnoj prikupljenoj količini u lokacijama sakupljanja. Ograničenjem (10) se obezbeđuje da transportovana količina od skladišta *j* do reciklažnih centara *p* ne bude veća od kapaciteta tog centra. Ograničenje (11) govori da mora postojati određena tražnja u reciklažnim centrima *p* da bi se realizovao transport mobilnih telefona do tih centara. Ograničenja (12), (13) i (14) se odnose na binarnu prirodu promenljivih Xij, Yj i Yp. Ograničenje (15) govori da mora postojati količina koja se transportuje od lokacija skladištenja *j* do reciklažnih centara *p* i sekundarnih tržišta *k*.

4. NUMERIČKI PRIMER

Kao primer za rešavanje opisane matematičke formulaciju lokacijskog modela, posmatrana je teritorija Republike Srbije. U tabeli 1 su dati numeričke vrednosti za prethodno opisane promenljive. Mobilni telefoni se sakupljaju sa 10 lokacija, a to su gradovi Sremska Mitrovica, Valjevo, Kragujevac, Užice, Leskovac, Kraljevo, Zrenjanin, Šabac, Kruševac i Sombor. Izabrane su tri potencijalne lokacije skladištenja – Beograd, Novi Sad i Paraćin. Prvi deo matematičke formulacije se odnosi na izbor lokacija skladištenja, tako da se minimizuje ukupno pređeno rastojanja. Za rešavanje primera su uzeta u obzir realna rastojanja Dij između lokacija sakupljanja *i* i lokacija skladištenja *j*, dok se transportni troškovi razlikuju u zavisnosti od potrošnje goriva po km i kreću se oko 1 €/tkm. Pretpostavljeno je da su nam poznate količine Q_i e-otpada koje su generisane i prikupljene u svakom od gradova sakupljanja e-otpada. Na odabir lokacije skladištenja utiču i troškovi otvaranja lokacija skladištenja Fj, kao i troškovi skladištenja i čuvanja proizvoda u skladištu po

danu. U obzir su uzeti i prihodi koji se ostvaruju od sakupljanja e-otpada u smislu prodaje na sekundarnim tržištima ili dobijanja sirovina za proizvodnju novih proizvoda kroz proces reciklaže.

Nakon prikupljanja i skladištenja e-otpada u izabranim lokacijama skladištenja *j*, vrši se proces testiranja otpada u cilju određivanja kvaliteta proizvoda na osnovu koga će vršiti dalje sortiranje e-otpada. Sortiranje se odnosi na razvrstavanje prikupljenih količina od krajnjih korisnika koje se nalaze u *j* skladišnih lokacija do reciklažnih centara *p* i sekundarnog tržišta. Potrebno je minimizirati ukupna rastojanja od skladišnih lokacija *j* do reciklažnih centara *p* i sekundarnog tržišta. Izabrane su dve lokacije za recikliranje – Zaječar i Pančevo i jedno sekundarno tržište u Rumuniji na koje se prodaju proizvodi nakon dorade i popravke. Nakon procesa testiranje, odlučeno je da se oko f_{i1} = 75 % prikupljenih količina transportuje do reciklažnih centara, a oko f_{i2} = 25 % do sekundarnog tržišta, tako da važi:

$$\sum_j \sum_p Q_{jp} \leq f_{i1} Q_i \quad \forall \mathrm{p} \in \mathrm{P}, \forall \mathrm{j} \tag{16}$$

$$\sum_j \sum_k Q_{jk} \leq f_{i2} Q_i \quad \forall \mathrm{k} \in \mathrm{K}, \forall \mathrm{j} \tag{17}$$

Tabela 1. Ulazni parametri za numerički primer

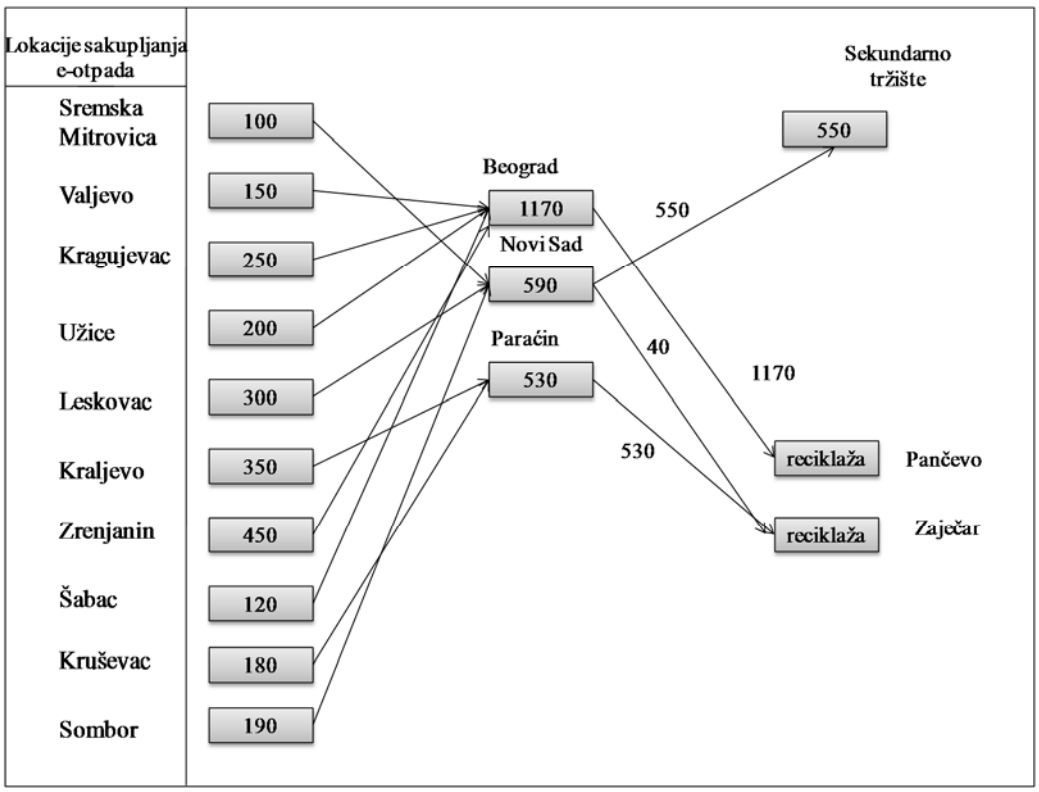
Parametri modela	Vrednosti parametara
Qi [kg]	100,150,250,200,300,350,450,120,180,190
Fj [€/dan]	1, 1.5, 2.5
Fp [€/dan]	1.9, 1.8
Hp [€/kg]	0.01
Ri [€/kg]	0.5
Bj [kg]	40000, 35000, 50000
Bp [kg]	5500, 8000
Vj [kg]	100, 150, 120
Vk [kg]	550
Vp [kg]	100, 150
Cj [€/kgdan]	0.1

Model je rešen korišćenjem softvera LpSolve i na slici 2 je prikazano rešenje predloženog lokacjiskog modela. Ono što se može zaključiti je da na rešenje modela pretežno utiču transportni troškovi ukupnog pređenog rastojanja, kao i troškovi čuvanja e-otpada u skladištu. U svakoj od izabranih lokacija skladištenja su zadovoljene tražnja i kapacitet skladišta. Na osnovu slike 2., može se videti da se za transport mobilnih telefona, od lokacije sakupljanja bira lokacija skladištenja koja joj je najbliža, što je i očekivano imajuću u vidu ciljnu funkciju. Ukupna količina koja je sakupljena u lokacijama sakupljanja je 2290 kg i distribuirana je do skladišta, tako da se u prvom skladištu nalazi količina od 1170 kg, u drugom 590 kg, a u trećem 530 kg. Nakon procesa testiranja količine se transportuju do reciklažnih centara i sekundarnog tržišta. S obzirom da su pređeno rastojanje i transportni troškovi od drugog skladišta do sekundarnog tržišta najmanji, ovim putem se transportuju proizvodi nakon popravke i nadogradnje. Tražnja na sekundarnom tržištu iznosi 550 kg, te je i u rešenju modela zadovoljenja. Preostala količina se transportuje do reciklažnih centara, pri čemu je zadovoljenja tražnja i kapacitet reciklažnih centara. Vrednost funkcije cilja iznosi 356742,7 novčanih jedinica.

Na vrednost funkcije cilja i distribuiranje količina od skladišnih objekata do reciklažnih centara i sekundarnog tržišta, utiču i troškovi skladištenja. U datom primeru je pretpostavljeno da se proizvodi zadržavaju u skladištu 1 dan. Međutim s obzirom da u povratnim tokovima prozvoda vreme ne predstavlja ključan kriterijum, kao kod direktne logistike, razmatran je i slučaj kada je broj dana čuvanja otpada u skladištu veći od 1, što je predstavljeno tabelom 2. Na osnovu prikazanih vrednosti funkcije cilja za različite vednosti parametra broja dana čuvanja u skladištu, može se zaljučiti da troškovi skladištenja i vreme čuvanja robe u skladištu ne utiču značajno na funkciju cilja, na osnovu korišćenih ulaznih parametara za ovaj model.

Tabela 2. Vrednost funkcije cilja u zavisnosti od broja dana čuvanja e-otpada u skladištu

Broj dana čuvanja u skladištu	Vrednost funkcije cilja
2	404202
3	404431
4	404660
5	404889
6	405118



Slika 2. Rešenje modela

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen matematički model za projektovanje povratno-logističke mreže za mobilne telefone. Matematički model je formulisan kao MILP model i njegovim rešavanjem se određuju optimalne lokacije skladišta i objekata za reciklažu kao i alokaciju generisanih količina mobilnih telefona u zavisnosti od opcije tretmana, uz minimizaciju ukupnih troškova. Ovo istraživanje treba svatiti kao početak istraživanja u ovoj oblasti, pogotovo na teritoriji Republike Srbije koja je kandidat za ulazak u EU i kao takva mora da usvoji i primeni obimnu i strogu zakonsku regulativu po pitanju zaštite životne sredine. Jedan od pravaca budućeg istraživanja bi bio uvođenje još jednog nivoa u predloženi model, odnosno lociranje i inicijalnih tačaka za sakupljanje mobilnih telefona.

Napomena:

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja za period 2011-2017. pod evidencionim brojem TR 36006.

LITERATURA

[1] Achillas, C., Vlachokostas, C., Aidonis, D., Moussiopoulos, N., Iakovou, E., Banias, G., (2010). Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of electrical and electronic equipment. Waste Management. 30 (12), 2592-2600.

[2] Aras, N., Korugan, A., Büyükozkan, G., Serifoglu, F.F., Erol, I., Velioglu, M.N. (2015). Locating recycling facilities for IT-based electronic waste in Turkey. Journal of Cleaner Production 105, 324-336.

[3] Assavapokee, T., Wongthatsanekorn, W., (2012). Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas. Computers and Industrial Engineering 62, (1), 129-140.

[4] Cruz-Rivera, R., Ertel, J., (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. European Journal of Operational Research 196, 930-939.

[5] http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm.

[6] Kilic, H.S., Cebeci, U., & Ayha, M.B. (2015). Reverse logistics system design for the waste of electrical andelectronic equipment (WEEE) in Turkey. Resources, Conservation and Recycling, 95, 120–132.

[7] Shih, L., (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. Resources, Conservation and Recycling. 32, 55-72.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SIMULACIJA OPERATIVNIH STRATEGIJA I PRAVILA DISPEČIRANJA CROSS DOCK TERMINALA

SIMULATION OF OPERATIONAL STRATEGIES AND DISPATCHING RULES IN CROSS DOCK TERMINAL

BRATISLAV LAZIĆ[1], GORDANA RADIVOJEVIĆ[2], GORANA ŠORMAZ[3]

[1] Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, bratislav.lazic@pupin.rs
[2] Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, g.radivojevic@sf.bg.ac.rs
[3] Institut Mihajlo Pupin, Univerzitet u Beogradu, gorana.sormaz@pupin.rs

Rezime: *Cross dock terminal je distributivni centar koji prima, sortira i otprema pošiljke bez skladištenja ili sa malim vremenom skladištenja, u skladu sa potrebama različitih učesnika u lancu snabdevanja. Cilj ovoga rada je razvoj simulacionog modela koji omogućava analizu i poređenje različitih operativnih strategija rada i pravila dispečiranja u terminalu. U radu su analizirane dve operativne strategije i četiri pravila dispečiranja za isti skup zahteva za pretovarom.*

Ključne reči: *Cross Dock, Operativne strategije, Dispečerska pravila, Simulacioni model, Performanse.*

Abstract: *A cross dock terminal is a distribution center that receives, sorts and dispatches goods, usually paletised, without storing, or with minimum storage time, in accordance with the needs of various participants in a supply chain. The aim of this paper is to develop a simulation model that enables the analysis and comparison of different operating strategies of work and delivery rules at the terminal. The paper analyzes two operational strategies and four dispatching rules for the same set of transaction requirements.*

Keywords: *Cross Dock, Operational strategies, Dispaching rules, Simulation model, Performances.*

1. UVOD

Cross dock terminal je distributivni centar koji prima robu od dobavljača, radi njeno sortiranje i organizaciju otpreme robe primaocima. Organizacija unutrašnjeg transporta pri pretovaru iz dolaznih u odlazna vozila je veoma kompleksan problem. Cilj ovoga rada je razvoj simulacionog modela koji će omogućiti testiranje različitih operativnih strategija i pravila dispečiranja u cross dock terminalu.

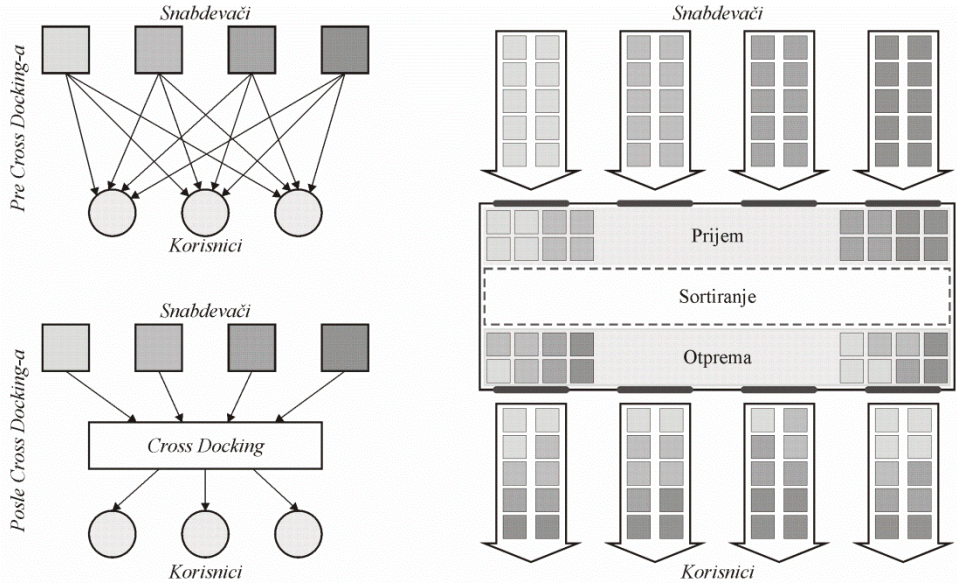
Rad obuhvata sedam celina. U drugom delu je opisan cross dock terminal, osnovne funkcije i problemi koji se rešavaju. Treći deo rada obuhvata opis operativnih strategija i pravila dispečiranja. U četvrtom delu je opisan simulacioni model i osnovne klase modela. Peti deo rada obuhvata numerički primer i opisani su izlazni rezultati. U šestom delu rada su opisani parametri Multi-mod pravila dispečiranja i analiza rezultata dobijenih simulacijom. U sedmom delu su data zaključna razmatranja.

2. CROSS DOCKING

Cross dock terminal je distributivni centar u lancu snabdevanja koji prima pošiljke od dobavljača, vrši njihovo sortiranje i otpremanje zajedno sa pošiljkama drugih dobavljača, u skladu sa potrebama ostalih učesnika u lancu snabdevanja. U ovom sistemu nema klasičnog skladištenja već je moguće samo privremeno odlaganje robe kod ulaznih i/ili izlaznih vrata. Osnovna ideja je direktan pretovar sa dolaznih na odlazna vozila uz dobru organizaciju pretovarnih operacija u terminalu.

Funkcije cross dock terminala su: prijem robe, sortiranje robe i otprema robe. Prijem robe se obavlja na ulaznim vratima terminala. Vozila sa robom čekaju na parkingu i raspoređuju se na ulazna vrata gde se obavljaju istovar i prijem robe. Ukoliko je potrebno privremeno skladištenje, roba se odlaže na pod terminala pored ulaznih ili izlaznih vrata ili u zoni između njih. Roba se sortira prema lokacijama korisnika i priprema za otpremu. Vozila za otpremu se raspoređuju na izlazna vrata, roba se utovara i vozilo realizuje otpremu.

Primena cross dock sistema u odnosu na tradicionalno skladištenje omogućava (Van Belle et al., 2011): smanjenje troškova, konsolidaciju isporuka, kraće rokove isporuke, smanjenje prostora potrebnog za skladištenje, smanjenje rizika od nastanka štete u procesu skladištenja, bolju uslugu korisnicima, bolje iskorišćenje resursa, brži obrt kapitala itd. Na slici 1 je prikazana ilustracija cross dock terminala.



Slika 1: Cross Dock terminal

U oblasti cross dock terminala najviše istraživani problemi su (Sheikholeslam and Emamian, 2016): izbor lokacije terminala, projektovanje lejauta terminala, organizacija mreže terminala, rutiranje vozila, raspoređivanje vozila na vrata pri istovaru i utovaru, vremensko raspoređivanja dolazaka vozila, privremeno skladištenje, interni saobraćaj itd.

3. OPERATIVNE STRATEGIJE

Upravljanje radom cross dock terminala obuhvata upravljanje procesima prijema, sortiranja, privremenog odlaganja i otpreme robe. Osnovni cilj je obezbeđenje sinhronizacije dolaznih i odlaznih tokova, uz što bolje iskorišćenje pretovarnih kapaciteta i održavanja zahtevanog kvaliteta usluge koji se daje korisnicima. Upravljanje procesom pretovara u cross dock terminalu je donošenje niza upravljačkih odluka kako bi se izvršila odgovarajuća alokacija resursa i zadovoljili svi zahtevi za pretovarom. Resursi obuhvataju lejaut terminala, broj ulaznih i izlaznih vrata, raspored i kapacitet skladišnih zona, vrstu i broj pretovarne mehanizacije, i dr. Zahtevi za pretovarom su definisani obimom transporta između ulaznih i izlaznih vrata i vremenima dolaska vozila u terminal.

Operativna strategija predstavlja način organizacije pretovarnih operacija i angažovanja pretovarnih sredstava u terminalu. Na osnovu zahteva za pretovarom i raspoloživih resursa (pretovarna sredstva, prostor, ljudi) potrebno je primeniti odgovarajuću strategiju pretovara. U literaturi postoje različite strategije rada cross dock terminala u zavisnosti od broja pretovara (Van Belle et al., 2011, Boysen, N.et al,, 2010):

- Strategija jednofaznog pretovara (engl. one-touch) podrazumeva da se roba istovara iz dolaznih i direktno utovara na odlazna vozila.
- Strategija dvofaznog pretovara (engl. two-touch) ili jednostepenog skladištenja (engl. single-stage) podrazumeva da se roba istovara iz vozila, transportuje do mesta privremenog skladištenja, i odatle se kasnije utovara na vozila.
- Strategija višefaznog pretovara (engl. multiple-touch) ili dvostepenog (engl. two-stage) skladištenja podrazumeva da se roba privremeno skladišti kod ulaznih vrata. Tu se roba sortira, transportuje do skladišne zone kod izlaznih vrata, skladišti i zatim utovara u vozila.
- Strategije kod kojih je moguće prekinuti istovar ili utovar vozila kako bi se opslužilo drugo vozilo koje ima prioritet.

U jednom terminalu je moguće primenjivati različite strategije u zavisnosti od vrste robe, intenziteta robnih tokova, raspoloživosti pretovarnih sredstava i dr. Upravljačke odluke o izboru operativne strategije direktno utiču na produktivnost i efikasnost rada cross dock terminala.

Upravljanje radom pretovarnih sredstava podrazumeva raspoređivanje sredstava na skup zahteva za pretovarom primenom odgovarajućih pravila dispečiranja. U literaturi postoje brojna pravila koja se mogu primeniti u cross dock terminalima (Le-Anh and De Koster, 2004). Pravila dispečiranja se mogu zasnivati na jednom (engl. Single-attribute) ili više kriterijuma (engl. Multi-attribute dispatching rules) po kojima se donose upravljačke odluke (rastojanje prevoza, vreme prevoza, vreme čekanja, dužina reda itd.).

U ovom radu se posmatra cross dock terminal u kome se radi centralizovano upravljanje pretovarnim sredstvima na osnovu trenutnog stanja primenom sledeća četiri pravila dispečiranja:

- Najmanje rastojanje prvo (engl. Shortest Travel Distance First – STDF). Ovo pravilo ima za cilj minimizaciju praznih vožnji. Kada pretovarno sredstvo završi jedan zadatak dodeljuje mu se sledeći koji je najbliži njegovoj trenutnoj lokaciji. Ako sledeći zadatak ne postoji pretovarno sredstvo se vraća u depo.
- Najveće rastojanje prvo (engl. Largest Travel Distance First – LTDF). Kada pretovarno sredstvo završi jedan zadatak dodeljuje mu se sledeći koji je najudaljeniji od njegove trenutne lokacije. Ako sledeći zadatak ne postoji pretovarno sredstvo se vraća u depo.
- Najveće vreme čekanja (engl. Maximum Waiting Time – MWT). Primenom ovog pravila teži se smanjenju čekanja zahteva na opslugu. Kad pretovarno sredstvo završi jedan zadatak dodeljuje mu se sledeći koji od svih preostalih ima najveće vreme čekanja.
- Modifikovano višeatributno pravilo dispečiranja (Multi-mod) se zasniva na dva kriterijuma: dužina praznih vožnji i vreme čekanja opsluge. Funkcija cilja zavisi od dužine prazne vožnje i vremena čekanja pretovarnog sredstva na početak realizacije pretovarnog zadatka. U funkciju cilja su uvedeni parametri koji predstavljaju težinske koeficijente za ova dva kriterijuma.

4. SIMULACIONI MODEL

U ovom radu je razvijen simulacioni model rada cross dock terminala za analizu različitih operativnih strategija rada i pravila dispečiranja. Osnovna ideja modela je da se testiraju različite strategije za isti obim pretovarnih zadataka – internog saobraćaja između ulaznih i izlaznih vrata. Unutrašnji transport i pretovar robe u terminalu se posmatraju kao diskretan dinamički zadatak na transportnoj mreži $G = (N, E)$ gde je N – skup čvorova koji obuhvataju ulazna i izlazna vrata, mesta ukrštanja internih saobraćajnica, mesta pristupa skladišnim zonama, lokacije depoa pretovarnih sredstava i lokacije parkinga vozila; i E – skup grana, internih saobraćajnica koje povezuju sve čvorove.

Dužine grana na transportnoj mreži odgovaraju rastojanjima iz realnog sistema. Za svaku granu je definisana maksimalna dopuštena vrednost brzine punog i praznog pretovarnog sredstva, minimalno međurastojanje i maksimalan broj sredstava koji istovremeno može biti na grani.

Skladišna zona ima ograničen broj mesta za privremeno skladištenje proizvoda. Roba se može odlagati i uzimati iz skladišta pored ulaznih i izlaznih vrata. Vremena odlaganja i uzimanja robe mogu biti determinističke ili slučajne promenljive koje imaju normalnu raspodelu.

U modelu su poznati podaci o vrsti i količini dolaznih i odlaznih tokova, vremenima dolaska vozila u terminal i rasporedu vozila na ulaznim i izlaznim vratima. Simulacioni model se zasniva na sledećim pretpostavkama:

- Sva roba koja se dopremi mora biti i otpremljena iz terminala.
- Parking terminala ima neograničen broj mesta.
- Redosled opsluge vozila na jednim vratima odgovara redosledu njihovog dolaska u terminal.
- Vozilo na ulaznim/izlaznim vratima istovremeno opslužuje samo jedno pretovarno sredstvo.
- Veličina i težina manipulativnih jedinica ne utiču na vreme utovara, istovara, transporta i skladištenja.
- Redosled istovara vozila odgovara obrnutom redu iz transportne liste.
- U otpremno vozilo se utovara samo roba koja se nalazi u transportnoj listi.
- Redosled utovara u odlazno vozilo može biti proizvoljan.
- Istovar/utovar nije moguće prekinuti i izvršiti zamenu vozila.
- Sva pretovarna sredstva mogu da izvrše svaki pretovarni zadatak.
- Na transportnoj mreži nije dozvoljeno preticanje pretovarnih sredstava.

U ovom radu je ocena operativnih strategija i pravila dispečiranja urađena na osnovu sledećih performansi rada cross dock terinala:

- broj angažovanih pretovarnih sredstava (b),
- pređeni put pretovarnih sredstava (s),
- stepen angažovanja pretovarnih sredstava (p),
- red vozila koji čekaju na opslugu (r),
- vreme opsluge dolaznih i odlaznih vozila (k),

- zauzeće ulaznih i izlaznih vrata (v) i
- vreme opsluge u terminalu (t).

Simulacioni model je razvijen u Microsoft Visual Studio 2010, C#, Net Framework 4.0. Klase i objekti modela su definisani u biblioteci C#CrossDockLib.

Simulacija događaja u čvorovima transportne mreže realizovana je kao osnovna klasa *cvor* koja predstavlja specifičnu implementaciju reda čekanja sa slučajnim vremenom obrade, a iz nje su izvedene klase: *Vrata*, *Raskrsnica*, *Ulaz* u *privremeno skladište* i *Depo transpornih sredstava*. Ovde su opisane osnovne klase simulacionog modela:

- Klasa *Vrata* i klasa *Ulaz u privremeno skladište* su dve specifične realizacije klase FIFO reda čekanja sa maksimalno jednim kanalom opsluge i stohastičkim vremenom opsluge. Ove klase implementiraju svu logiku obrade vezane za utovar, odnosno istovar tereta na vratima i privremenim skladištima.
- Klasa *Parking Viljuskara* je definisana kao lista pretovarnih sredstava koji čekaju na pretovarni zadatak.
- *Raskrsnica* je specifična realizacija klase reda čekanja sa prioritetom sa neograničenim brojem kanala opsluge u redu i slučajnim vremenom opsluge. Prioritet u obradi reda je određen: pravilom desne strane, puno sredstvo ima prednost u odnosu na prazno i FIFO pravilom. Ukoliko transportno sredstvo sa najvećim prioritetom po završenoj obradi nije u stanju da napusti raskrsnicu (nije u mogućnosti da nastavi pretovarni zadatak zbog nekog od ograničenja), dozvoljena je zamena prioriteta.
- Klasa *Grana* simulira događaje kretanja pretovarnih sredstava duž sobraćajnih traka u terminalu. Realizovana je kao jedna varijanta FIFO reda čekanja sa ograničenim kapacitetom. Ona obezbeđuje detaljno praćenje kretanja pretovarnog sredstva duž transportne mreže, održavanje kritičnog odstojanja i stohastičku promenu prosečne brzine.
- Klasa *Parking* cross dock terminala je realizovana kao jedna implementacija FIFO reda čekanja sa neograničenim brojem korisnika u redu. Vreme obrade u redu ne može biti manje od unapred zadate determinističke vrednosti. Dolazna, odnosno odlazna vozila napuštaju red samo pod uslovom da je došlo do oslobađanja vrata.
- Klasa *Router* omogućava automatsko generisanje rute pretovarnog sredstva za izvršenje pretovarnog zadatka. Ova klasa implementira Dijkstra algoritam za nalaženje najkraćeg puta između dva čvora transportne mreže, pri čemu podržava kriterijume dužina puta i vreme putovanja.
- Klasa *CrossDock* učitava konfiguraciju terminala i implementira simulaciju diskretnih događaja sa mehanizmom pomaka vremena sa konstantnim priraštajem. Ona upravlja listom događaja, planira sledeće događaje u sistemu i generiše procese realizacije pretovara u skladu sa izabranom strategijom pretovara.
- Klasa *Viljuskar* predstavlja entitet pretovarnog sredstva u cross dock terminalu. Ona opisuje karakteristike pretovarnog sredstva, stanja u kome se ono nalazi i vodi potrebnu statistiku angažovanja pretovarnog sredstva.
- Klase *Kamion* i *Roba* predstavljaju objekte u sistemu koje se kreću kroz sistem zahtevajući resurse i čekajući u redu za resurse. Ove klase nastaju dolaskom vozila na parking. One iniciraju proces zahteva za pretovarom i njihov životni vek se završava kada se dolazno vozilo potpuno istovari i napusti vrata, odlazno vozilo utovari i napusti vrata ili jedinica tereta utovari u odlazno vozilo.
- Klasa *Contro*l realizuje odgovarajuće pravilo upravljanja dispečiranja.
- Klasa *Topsis* vrši rangiranje alternativa na osnovu izabranih kriterijuma performansi,

5. PRIMER

U ovom radu je urađena simulacija rada cross dock terminala oblika I, čije su dimenzije 58m x 26m, sa 8 ulaznih i 8 izlaznih vrata. Prostor za privremeno skladištenje je organizovan ispred izlaznih vrata. Terminal raspolaže sa 16 viljuškara. Brzina kretanja viljuškara, vremena utovara i istovara tereta su slučajne promenljive koje imaju normalnu raspodelu. Simulacija je obuhvatila jedan radni dan terminala. Dopremu obavlja 80 vozila koja dovoze ukupno 2240 jedinica tereta. Otprema tereta se obavlja sa 84 vozila. Za testiranje izabranih strategija pretovara definisana su dva skupa ulaznih podataka koja obuhvataju različitu raspodelu vremena dolazaka vozila u posmatranom periodu. Za oba skupa ulaznih podataka (Data Set 1 i Data Set 2) urađena je simulacija za:

- Dve strategije pretovara – jednofazni i dvofazni pretovar, i
- Četiri pravila dispečiranja – najmanje rastojanje prvo (STDF), najveće rastojanje prvo (LTDF), najveće vreme čekanja (MWT) i modifikovano više atributno pravilo dispečiranja (Multi-mod).

U tabeli 1 je prikazan jedan deo rezultata simulacije za Data Set 1. Na isti način su dobijeni rezultati za Data Set 2.

Tabela 1: Performanse rada za Data Set 1

OS	Vreme (s)	Viljuškari			Vrata		Vozila			Teret(s)
		b	*s* (m)	*p* (%)	Ulazna (s)	Izlazna (s)	Dolazna (s)	Odlazna (s)	Max *r*	
Pn	22269	12	194551	81.52	152588	143168	418442	209176	25	2978355
Pm	22261	12	193883	80.81	151870	143258	397604	190187	23	3118175
Pl	24868	12	223652	84.27	175241	164083	544970	337387	38	3275339
Pw	22234	12	207436	81.75	162652	154368	453135	263397	30	3690755
…										
Pn	22193	16	210356	68.84	148106	119087	338446	120609	17	2973182
Pm	22197	16	208757	68.04	148032	117496	336724	118953	18	2997165
Pl	22234	16	224580	72.64	148085	129745	356528	143316	24	2947013
Pw	22219	16	215866	69.82	148068	124537	340317	129782	20	3109476
Jn	23650	12	189415	92.84	151340	145464	353609	235890	26	5233208
Jm	23796	12	190712	93.44	151713	147474	349416	233756	27	5409852
Jl	33533	12	348127	96.85	235514	227197	765903	711933	62	7458061
Jw	28289	12	242217	95.34	185110	183325	765903	419815	43	8284999
…										
Jn	21969	16	212023	84.26	118319	66022	181517	66005	10	5870833
Jm	21971	16	210707	84.04	119748	68129	184052	68300	10	5851664
Jl	26280	16	348697	93.78	174410	166097	466703	365482	38	5900107
Jw	22695	16	248623	91.76	140435	135543	277510	179216	20	6513832
Pn – jednofazni pretovar + STDF						Jn – dvofazni pretovar + STDF				
Pm – jednofazni pretovar + Multi-mod						Jm – dvofazni pretovar + Multi-mod				
Pl – jednofazni pretovar + LTDF						Jl – dvofazni pretovar + LTDF				
Pw – jednofazni pretovar + MWT						Jw – dvofazni pretovar + MWT				

Analiza performansi rada za opisane strategije i pravila dispečiranja ukazuje na sledeće zaključke:

- Srategija jednofaznog pretovara daje dobre rezultate samo u uslovima dobre sinhronizacije dolaznih i odlaznih vozila.
- Pravila dispečiranja LDTF i MWT daju lošije rezultate u odnosu na STDF i multi-mod.
- Primenom TOPSIS metode moguće je rangiranje različitih operativnih strategija.

6. PARAMETRI MULTI-MOD PRAVILA DISPEČIRANJA

Kod modifikovanog višeatributnog pravila dispečiranja (Multi-mod) osnovni kriterijumi su dužina praznih vožnji i vreme čekanja opsluge. Funkcija cilja je (Le-Anh and De Koster, 2004):

$$f_{v_i}(D_{vi}, W_{vi}) = \alpha \times D_{v_i} + \beta \times (W_{vi})^p \tag{1}$$

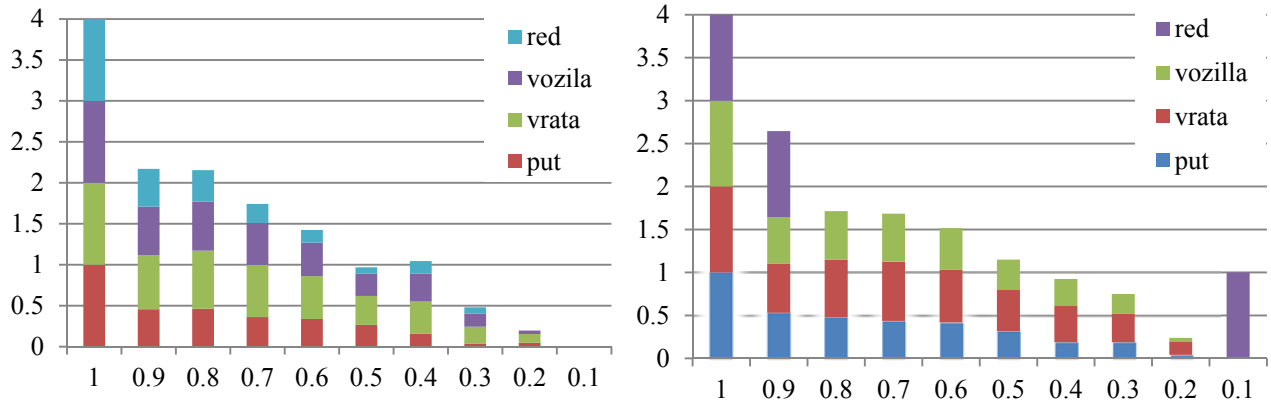
gde je D_{vi} dužina prazne vožnje, W_{vi} vreme čekanja pretovarnog sredstva v za zahtev i a p je ceo broj. Parametri α i β su težinski koeficijenti za kriterijume D_{vi} i W_{vi} koji ispunjavaju uslov:

$$\alpha + \beta = 1 \tag{2}$$

Izbor vrednosti parametara α i β može znatno uticati na kvalitet upravljanja pretovarnim procesima. Granične vrednosti ovih parametara su:

- $\alpha = 1$ – Multi-mod pravilo dispečiranja postaje STDF pravilo dispečiranja, i
- $\beta = 1$ – Multi-mod pravilo dispečiranja postaje MWT pravilo dispečiranja.

U ovom radu je izvršena serija simulacija pretovarno-transportnih procesa za dva skupa podataka (Data Set 1 i Data Set 2) i različite vrednosti parametara α i β. Na slici 1 su prikazane normalizovane vrednosti performansi u zavisnosti od vrednosti parametra β ($\alpha = 1 - \beta$). Simulacioni rezultati su pokazali da vrednosti $\alpha = 0.8$ i $\beta = 0.2$ skoro uvek daju najbolje performanse.



Slika 1: Normalizovane vrednosti performansi u zavisnosti od parametra β za Data set 1 (levo) i Data Set 2 (desno)

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je izgradnja okvira za evaluaciju operativnih strategija upravljanja transportno pretovarnim procesima u cross dock terminalima. Izvršena je detaljna analiza međusobnog uticaja pretovarnih sredstava i analiza transportnog toka. Razvijen je uopšteni simulacioni model posmatranog sistema i kreirana softverska biblioteka za dobijanje indikatora preformansi. Unapređenje i dalji razvoj simulacionog modela mogu biti:

- primena dispečerskih pravila zasnovanih na fazi logici,
- primena pretovarnih sredstava različitih karakteristika,
- mogućnosti dužeg skladištenja robe itd.

Napomena: Ovaj rad je finansiran od strane MNTR Republike Srbije u okviru projekta TR 36005 (2011-2017).

LITERATURA

[1] Boysen, N., Fliedner, M. (2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. Omega, 38 (6), 413-422.

[2] Le-Anh, T., De Koster, R. (2004). Online dispatching rules for vehicle-based internal transport systems. ERIM report series research in management, ERS-2004-031LIS.

[3] Sheikholeslam, M.N., Emamian, S. (2016). A review and Classification of Cross-Docking Concept. International Journal of Learning Management Systems 4(1), 25-33.

[4] Van Belle, J., Valckenaers, P., Cattrysse, D. (2011). Cross-docking: State of art. Omega 40 (2), 827-846.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ОПТИМАЛНО РАСПОРЕЂИВАЊЕ ВОЗИЛА ЗА ПРЕВОЗ ШЕЋЕРНЕ РЕПЕ

OPTIMAL SCHEDULING OF SUGAR BEET COLLECTION VEHICLES

ДРАГАНА ДРЕНОВАЦ[1], МИЛОРАД ВИДОВИЋ[2]

[1] Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, drenovac@sf.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду Саобраћајни факултет, m.vidovic@ sf.bg.ac.rs

Резиме: *У овом раду разматран је проблем оптималног распоређивања возила за превоз шећерне репе од тачака прикупљања репе до шећеране. Да би шећеране биле продуктивне, потребна је сировина високог технолошког квалитета, тј. са високим процентом сахарозе, главног састојка од кога се добија шећер. Пошто сирова репа, после чупања из земље, почиње да губи сахарозу, потребно је организовати превоз тако да се репа што мање задржава на прозмама. У овом раду одређено је најповољније распоређивање најмањег могућег броја возила за превоз шећерне репе тако да се што више сачува њена свежина током посматраног планског периода и да интензитет допреме није мањи од интензитета прераде. Представљен је и одговарајући математички модел чије су могућности приказане кроз одређени број тест примера.*

Кључне речи: *Шећерна репа, Транспорт, Оптимизациони модел.*

Abstract: *In this paper the problem of sugarbeet transportation process optimization, which comprises pick-up sugarbeet from collection points and conveying them to sugar mills, is considered. The availability of sufficient quantities of sugarbeet of high technological quality is an important prerequisite for a mill to be economically viable. Pulled out of the grounds, sugarbeet loses its quality waiting for transportation. In this paper optimization of sugarbeet transportation process in terms of preserving beet freshness, while minimazing vehicle fleet size, is considered and binary model is proposed. The proposed model is validated on set of test instances.*

Keywords: *Sugar beet, Transportation, Mathematical model.*

1. УВОД

Шећерна репа припада групи најинтензивнијих ратарских биљних врста због великих захтева у производном процесу. За привреду једне државе производња шећерне репе има велики значај јер се на ову производњу наслања читав ланац осталих индустријских (шећеране) и прехрамбених грана привреде.

Шећерна репа се гаји првенствено ради добијања шећера из корена у коме се налази сахароза и то је њен агроекономски значај. Агротехнички значај се огледа у томе што шећерна репа као окопавинска култура оставља за собом добро земљиште, богато хранљивим материјама па је одличан предусев за многе културе. Такође, део процеса жетве и прераде су лишће са главама и сатурациони муљ који се користе као сточна храна и ђубриво.

Процес прераде шећерне репе одвија се кроз два периода у току године. У првом периоду биљка се сади и сазрева, а траје од раног марта до августа. У ту фазу може се укључити и садња одговарајуће преткултуре које рано напуштају земљиште како би се оно технолошки припремило за сетву шећерне репе. Затим наступа период вађења шећерне репе из земље, транспорт до шећеране и прерада сирове репе. Тај период зове се кампања и траје два до четири месеца у зависности од висине приноса репе и временских услова.

Извађена репа из земље почиње да трпи технолошке промене тако што у корену почиње да се смањује количина сахарозе. Ови губици варирају у зависности од метео услова и карактеристика репе, а просечно износе око 1% дневно. За стандардни садржај шећера у корену сматра се 16%. Зато

је тек извађену репу потребно што пре транспортовати до шећеране на прераду. Због ограничених капацитета прерадног, транспортног и складишног система, као и неповољних временских услова, целокупну извађену количину најчешће није могуће одмах отпремити и прерадити па су губици сахарозе неминовни.

У периоду кампање шећеране раде без прекида што подразумева свакодневну допрему потребних количина шећерне репе са мање или више удаљених локација призми у сировинском подручју шећеране. Велика потреба за сировином изискује велике захтеве за транспортом. Тако у Србији око 100 возила направи преко 200 тура у току 24 часа од шећеране до призми са репом, што значи да свако возило направи између једне и неколико тура дневно. За задовољење оволике тражње за превозом шећеране ангажују различита транспортна предузећа на бази плана претходно дефинисаног тако да процес сакупљања и транспорта репе буде ефикасан и економичан. План укључује локације призми, количине репе, захтевани број тура за сваки појединачни дан планског периода дужине од 3 до 6 дана, оптималну величину возног парка као и најповољнију динамику отпреме и редоследа обиласка појединих локација.

У литератури не постоји много радова који се баве снабдевањем шећерана шећерном репом. У једном од првих [1] моделован је процес транспорта шећерне репе до фабрика у Мађарској. У раду [2] разматран је систем расподељивања шећерне репе у којем се репа не вози директно у фабрику већ преко одређених локација, тзв. депоа. Аутори оптимизују број депоа, њихових локација и величина, као и количина репе у току снабдевања тако да се минимизирају локацијско - транспортни трошкови. У [3] анализирана је потреба повезивања више логистичких фаза: вађење репе, транспорт и складиштење. Радови [4] и [5] приказују моделе којима се минимизирају свеукупни трошкови превоза репе. У раду [6] аутори су оптимално распоређивали возила за превоз шећерне репе са балансираним искоришћењем. Неки радови се односе на снабдевањем шећерана шећерном трском. Тако је у [7] оптимизована величина флоте возила, док је у [8] решаван проблем распоређивања друмских возила за превоз трске до шећерана у Аустралији.

У овом раду проблем превоза шећерне репе до шећерана у процесу производње шећера посматран је као проблем оптимизације редоследа и динамике обиласка призми, тако да се минималним бројем возила омогући непрекидан рад шећеране допремањем неопходне количине репе уз минимални губитак сахарозе. Циљ је да се оптималним управљањем тог процеса, тј. минималним одлагањем отпреме, обезбеди сировина што бољег техолошког квалитета.

За решавање тог проблема, у раду [9] приказана је идеја базирана на комбинованом концепту инспирисаном проблемима оријентације [10] и једнодимензионог паковања и представљен је математички модел проблема који укључује дискретне периоде детериорације репе.

У овом раду аутори су развили модел оптималног превоза репе који је произашао из комбиновања концепта инспирисаног проблемима оријентације и проблема сакупљања и доставе контејнера посматраног као вишеструко упаривање (multiple matching) [11], при чему се детериорације репе посматра као процес континуалан у времену.

У наставку, рад је организован на следећи начин. У тачки два представљени су опис и математичка формулација проблема. У тачки три дати су резултати нумеричких експеримената примене модела, док тачка четири садржи закључна разматрања.

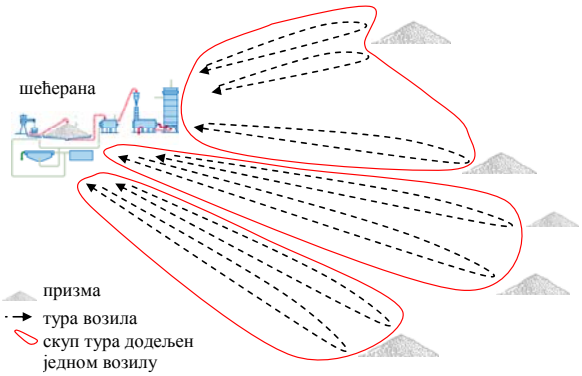
2. ОПИС И МАТЕМАТИЧКА ФОРМУЛАЦИЈА ПРОБЛЕМА

Свака шећерана има своје сировинско и производно подручје. У сировинском подручју шећеране налазе се њиве различитих произвођача са засадом шећерне репе. Такође, у том подручју одређена су и погодна места за складиштење извађене репе пре отпреме у шећерану - бетонске и земљане призме. Обично једно такво место користи више пољопривредних произвођача. Количине ускладиштене репе на призмама износе и по више стотина тона што захтева више обилазака, односно тура до исте призме, како би се превезла сва репа.

За време кампање шећерана ради константним производним интензитетом, што захтева константно снабдевање шећерном репом и то свакога дана. Дуже задржавање репе на призмама

узрокује губитке садржаја сахарозе па се распоређивање возила на радне задаке врши тако да губици у дигестији буду минимални.

Међутим, од економског интереса је да се транспорт репе испланира тако да се ангажује најмањи могући број возила којима би се обезбедила несметана дневна производња шећеране. Транспортна мрежа која представља посматрани проблем приказана је на слици 1.



Слика 1. Сировинско и производно подручје шећеране [6]

Математички модел превоза шећерне репе који се разматра у овом раду формулисан је у форми целобројног бинарног модела линеарног програмирања. Модел омогућава управљање превозом репе до шећерана на оперативном нивоу, унутар планског периода дате дужине. Иако временска компонента није експлицитно присутна у моделу, она има утицаја на изналажење оптималног решења самим тим што се губитак сахарозе прати континуално у времену.

Сировинско подручје кога чине засади шећерне репе, као и производно подручје шећеране могу се представити транспортном мрежом у којој су чворови призме са одређеном количином шећерне репе коју треба превести до фабрике.

Мрежа садржи N чворова $p \in N \backslash \{0\}$, (призми), док је посебним чвором унутар мреже представљена шећерана, $p=0$. На располагању је хомогени возни парк одговарајућих возила капацитета q_v. Шећерана поседује простор за складиштење допремљене репе чији је капацитет Q_s. Дневна количина која се прерађује у фабрици износи Q_p, док је минимална количина залиха репе, која обезбеђује сигурност у континуитету производње, на дневном нивоу $Q_{\min}$ $\left(Q_p \le Q_{\min}\right)$.

Од реалне транспортне мреже може се формирати виртуелна, мултиплицирањем реалних чворова - локација призми, бројем тура возила потребних за отпрему укупне количине. На основу тога, сваки чвор $p \in N$, мултиплицира се у n_p „виртуелних“, тј. чвор p се n_p пута посећује у току планског периода.

Сва времена путовања од шећеране до призме p позната су и износе T_p, $p \in N \backslash \{0\}$. Такође је познато и просечно време утовара, мерења и истовара камиона, T_{lmu}. Време потребно да се до призме p обави једна тура износи $t_p = 2T_p + T_{lmu}$. Дакле, у време t_p урачунат је и повратак у фабрику. $T_{\max}$ је временски период који може да означава дан или смену у току планског периода.

У овом раду, без губитка општости приказа идеје, претпостављено је да током радног времена возило може обавити једну, две, или највише три туре, што је и веома блиско реалности где је, по правилу, максимални број рута четири или пет . У складу са тиме формиране су тројке чворова, парови чворова, као и руте дужине једне туре. Да би биле допустиве, све комбинације чворова морају да задовољавају услов да трајање секвенци тура које се реализују једним возилом морају бити краће од расположивог времена тог возила.

Залихе репе у призми p појављују се у произвољном тренутку A_p у току планског периода, тако да је дан појаве могуће утврдити као $r_p = \left[\frac{A_p}{T_{\max}}\right] + 1$.

Прихваћено је да је количина шећера у корену репе континуална функција времена, при чему је за утврђивање дигестије посматран период од доласка репе на призму, до истовара у шећерани. Проценат сахарозе утврђује се као функција времена чија вредност у произвољном временском тренутку t представља количину сахарозе у корену репе:

$$S_p = S_p^0 (1-\alpha)^t \tag{1}$$

где је α губитак у дигестији у јединици времена, док је S_p^0 почетна количина сахарозе у тек извађеној репи складиштеној на призми p.

Како током радног времена возило може обавити више тура, од интереса је одредити укупну количину шећера коју то возило сакупи обиласком секвенце чворова.

Величина S_{ijk} представља укупан проценат сахарозе која би се сакупила обиласком секвенце чворова i, j и k. Вредност те величине израчунава се као збир процената сахарозе сваког од чворова:

$$S_{ijk} = S_i(t_i^z - A_i + t_v) + S_j(t_j^z - A_j + t_v) + S_k(t_k^z - A_k + t_v) \tag{2}$$

где су t_i^z, t_j^z, t_k^z тренуци окончања тура i, j и k, респективно, A_i, A_j, A_k, тренуци појављивања репе у припадајућим чворовима, а t_v је тренутак када је возни парк на располагању.

Најкраће одлагање допреме репе до шећерана тј. најмањи могући губици сахарозе у времену постигли би се ако би свако возило обилазило само по један чвор. Међутим, тада би транспортни трошкови били изузезно високи. Зато је, поред сакупљања највишег могућег скора, тј, сакупљања најсвежије репе, циљ транспортовати сву репу најмањим бројем возила. Да би се више чворова упаривало са једним возилом, потребно је било наћи величину која је у корелацији са комбиновањем што већег броја чворова. Изабрано је да то буде кумулативно време трајања тура у оквиру једне руте.

Постављањем максимизације укупног кумулативног времена трајања свих тура које се реализују једним возилом као критеријума оптималности, постиже се да модел упарује што већи број тура са произвољним возилом. Као крајњи исход смањује се број потребних возила.

У функцији циља време t_{ijk}^{cum} кумулативно је време трајања тројке чворова i, j и k и израчунава се као $t_{ijk}^{cum} = 3t_i + 2t_j + t_k$. Величине t_i, t_j, t_k једнаке су вредностима времена потребног да се обиђу чворови i, j и k, респективно.

Предложени модел може се формулисати на следећи начин:

$$\max \sum_i \sum_j \sum_k \sum_d S_{ijkd} y_{ijkd} + \sum_i \sum_j \sum_d S_{ijd} y_{ijd} + \sum_i \sum_d S_{id} y_{id} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_d t_{ijk}^{cum} y_{ijkd} + \sum_i \sum_j \sum_d t_{ij}^{cum} y_{ijd} + \sum_i \sum_d t_i y_{id} \tag{3}$$

под ограничењима:

$$\sum_j \sum_k \sum_d y_{ijkd} + \sum_j \sum_k \sum_d y_{jikd} + \sum_j \sum_k \sum_d y_{kijd} + \sum_j \sum_d y_{ijd} + \sum_j \sum_d y_{jid} + \sum_d y_{id} = 1, \ \forall i, d \geq r_i, r_j, r_k \tag{4}$$

$$\sum_j \sum_k \sum_d y_{ijkd} + \sum_j \sum_k \sum_d y_{jikd} + \sum_j \sum_k \sum_d y_{kijd} + \sum_j \sum_d y_{ijd} + \sum_j \sum_d y_{jid} + \sum_d y_{id} = 0, \ \forall i, d < r_i, r_j, r_k \tag{5}$$

$$Q_{\min} \leq q_v (3\sum_i \sum_j \sum_k \sum_d y_{ijkd} + 2\sum_i \sum_j \sum_d y_{ijd} + \sum_i \sum_d y_{id} - 3\sum_i \sum_j \sum_k \sum_d y_{ijkd-1} - 2\sum_i \sum_j \sum_d y_{ijd-1} - \sum_i \sum_d y_{id-1}) \leq Q_s, \forall d > 1 \tag{6}$$

$$Q_{\min} \le q_v (3\sum_i \sum_j \sum_k \sum_d y_{ijk1} + 2\sum_i \sum_j \sum_d y_{ij1} + \sum_i \sum_d y_{i1}) \le Q_s \quad (7)$$

$$y_{ijkd} = \begin{cases} 1, \text{ако руту са чворовима i, j, k обилази возило дана d} \\ 0, \text{у супротном} \end{cases}$$

$$y_{ijd} = \begin{cases} 1, \text{ако руту са чворовима i, j обилази возило дана d} \\ 0, \text{у супротном} \end{cases}$$

$$y_{id} = \begin{cases} 1, \text{ако чвор i обилази возило дана d} \\ 0, \text{у супротном} \end{cases}$$

Функција циља (3) максимизира два сабирка. Један је сума свих скорова сакупљених обиласком свих чворова за време планског периода. Други сабирак представља суму кумулативних времена рута свих возила. Ограничења (4) обезбеђују само један обилазак сваког чвора до краја планског периода и то по ускладиштењу репе. Ограничења (5) онемогућавају обилазак чвора пре допремања репе до чвора. Изрази (6) ограничавају количину репе допремљену до шећеране било ког дана осим првог капацитетом складишта и минималном прописаном количином. Ограничења (7) ограничавају количину репе која би се шећерани допремила првог дана капацитетом складишта и најмањом потребном количином.

3. РЕЗУЛТАТИ НУМЕРИЧКИХ ЕКСПЕРИМЕНАТА

Предложени модел тестиран је на скупу нумеричких примера од десет инстанци које су генерисане на случајан начин. Скуп инстанци односи се на плански период од три дана.

Сировинско подручје свих нумеричких примера садржи 5 призми, чија су растојања генерисана на случајан начин из интервала [6,12] часова. Носивост свих возила је 25 тона. Дневна продуктивност шећеране је 300 тона у просеку. То је уједно и капацитет производног складишта шећеране, као и минимална количина сировине коју треба обезбедити за непрекидну прераду репе. Посматране су три величине призми у зависности од количине на њима. У односу на призме средње величине, мале призме имају 25 тона мање, док велике призме 25 тона више репе.

Проценат сахарозе шећерне репе у тренутку вађења из земље је случајан број из интервала [15,20]. Усвојено је да се дневно на дигестији губи 1.2%. Функција губитка сахарозе је линеарно опадајућа функција времена. Период $T_{\max}$ је 24 часа. Шећерна репа може се допремити до призме у било ком дану планског периода.

Предложени математички модел тестиран је коришћењем софтвера CPLEX 12.2 на 64-битном рачунару 3.20 GHz Intel Core i5-3470 са 8 GB RAM меморије.

Резултати извршених тестирања одређују неопходан број возила за сакупљање укупне количине репе са свих призми, као и број и редослед обиласка чворова за свако возило. Свака променљива која је једнака јединици налаже ангажовање једног возила, а уређени скуп индекса те променљиве показује који су чворови упарени са тим возилом и, ако је било вишеструког упаривања, којим редоследом. Тиме је одређен и број тура које возило обилази у току радног времена.

Вредност функције циља збир је два сабирка. Први означава укупан сакупљени скор са свих чворова у току планског периода, тј. укупну количину сахарозе. Њиме се мери губитак у дигестији у односу на укупну количину сахарозе на почетку планског периода. Други сабирак представља укупно кумулативно време трајања свих рута и на тај начин форсира ангажовање возила на реализацији вишеструких тура чиме се заправо минимизира величина возног парка.

Резултати теста приказани су у Табели 1. Представљени резултати су обећавајући и показују да се предложени континуални модел може користити за оптимално управљање транспортом шећерне репе у процесу производње шећера.

Табела 1: Резултати тестирања модела

Тест примери	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_10
Вредност функције циља (10^3)	1.19	1.16	1.21	1.06	1.09	1.11	1.22	1.23	1.04	1.12
CPU време (секунде)	0.05	1.83	25.39	0.20	1.24	0.11	0.05	46.28	0.06	2.51

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљен проблем оптималног распоређивања возила за превоз шећерне репе од места складиштења извађене репе до места прераде, тј. од призми до шећеране. Проблем допреме шећерне репе до шећерана посматран је као задатак оптимизације редоследа и динамике обиласка призми, тако да се минималним бројем возила обезбеди допрема захтеване количине репе са што већим садржајем сахарозе.

Проблем је формулисан на бази комбинованог концепта проблема оријентације и проблема сакупљања и доставе контејнера као проблема вишеструког упаривања. Приступ се показао као веома обећавајући, па је будући правац истраживања развој хеуристичког приступа којим би се решавали проблеми већих димензија.

ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је делимично подржан од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије, кроз пројекат ТР36006 за период 2011.-2017.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kondor, G., „Elaboration of an optimum transportation and processing program for sugar-beet“, *Economics of planning*, 6(1), (1966), 43-52.

[2] Jasińska, E., Wojtych, E., „Location of depots in a sugar-beet distribution system“, *European Journal of Operational Research*, Volume 18, Issue 3, (1984), 396-402.

[3] Strohm, R., Logistik im Zuckerrübenanbau. In: Kopfer, H., Bierwirth, C. (Eds.), *Logistik Management*. Springer, Berlin, (1999), 41–48 (in German).

[4] Žitňák, M., Korenko, M., „Technical-economical indicators in the sugar beet transportation management“, *Res. Agr. Eng.* 57 (2) (2011), 63–71.

[5] Hansen, A.C., Barnes, A., Lyne, P.W.L., „Using computer simulation to evaluate sugarcane harvest-to-mill delivery systems“. Proceedings of the Seventh *International Conference on Computers in Agriculture*, (2001), 98–107.

[6] Видовић, М, Дреновац, Д., „Optimization of fleet size with balanced use of vehicles: case of sugar beet transportation“, 3th Logistics International Conference LOGIC, Belgrade, Serbia, (2017), 25-30.

[7] Higgins, A., „Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill“, *European Journal of Operational Research* 170 (2006), 987–1000.

[8] Milan, E.L., Fernandez, S.M., Aragones L.M.P., „The transportation problem of sugarcane“, Working paper at the Mathematics Department of the University of Lleida, Spain, 2003.

[9] Дреновац, Д., Видовић, М., „Оптимизација процеса транспорта шећерне репе до шећеране“, XLIII симпозијум о операционим истраживањима, SYM-OP-IS, Тара, Србија, 2016.

[10] Vansteenwegen, P., Souffriau, W., Van Oudheusden, D., „The orienteering problem: A survey“. *European Journal of Operational Research*, 209: (2011), 1–10.

[11] Видовић, М, Радивојевић, Г., Ратковић, Б., „Vehicle routing in containers pickup up and delivery processes“, Procedia Social and Behavioral Sciences 20 (2011), 335–343.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

NOVI MATEMATIČKI MODEL PROBLEMA DNEVNOG RASPOREĐIVANJA RADNIKA U LUČKIM KONTEJNERSKIM TERMINALIMA

NEW MATHEMATICAL MODEL FOR A DAILY WORKER SCHEDULING PROBLEM AT PORT CONTAINER TERMINALS

IVANA VUKIĆEVIĆ BIŠEVAC[1], KATARINA VUKADINOVIĆ[2]

[1] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, i.vukicevic@sf.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, k.vukadinovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U kontejnerskim terminalima radnici predstavljaju značajan resurs. Problem raspoređivanja radnika značajno usložnjavaju zakonski propisi i sindikalni zahtevi. Pored toga, postoji i velika fluktacija tražnje u toku dana, koju je potrebno ispuniti sa ograničenim brojem obučenih radnika, od kojih su neki već raspoređeni po smenama. U ovom radu data je višekriterijumska formulacija problema raspoređivanja radnika koji upravljaju transportno pretovarnim sredstvima u kontejnerskim terminalima. Za rešavanje predloženog modela višekriterijumske optimizacije korišćena je Leksikografska metoda.*

Ključne reči: *Višekriterijumska optimizacija, Raspoređivanje lučkih radnika, Lučki kontejnerski terminali.*

Abstract: *At port container terminals workers are considered as important resources. Assignment of port workers is complex due to regulations and Labor Union requests. Besides, there are large daily demand fluctuations which have to be fulfilled with a limited number of skilled workers, when some of them already have assigned shifts. In this paper, a multicriteria formulation of a daily worker scheduling problem at port container terminals is proposed. Lexicographic method is used for solving of the proposed model.*

Keywords: *Multicriteria optimization, Port workers scheduling, Port container terminals.*

1. UVOD

Trend porasta nosivosti kontejnerskih brodova u cilju smanjenja troškova po TEU (Twenty-foot Equivalent Unit), dovodi do povećanja vremena koje brodovi provode u lukama što može značajno umanjiti efekat ekonomije obima (Gkonis i Psaraftis, 2010). Da bi se ovo izbeglo luke moraju da prate ovaj trend, da proširuju resurse i/ili da povećaju iskorišćenje postojećih resursa.

U neautomatizovanim kontejnerskim terminalima radnici predstavljaju značajan resurs. Transportno pretovarnim sredstvima, kao što su obalske dizalice, mobilne kontejnerske dizalice, vozila koja se koriste za unutrašnji transport kontejnera i dr. u kontejnerskim terminalima upravljaju radnici.

Troškovi radnika čine više od 50% ukupnih operativnih troškova kontejnerskih terminala (Notteboom, 2010). Broj kvalifikovanih radnika za upravljanje transportno pretovarnim sredstvima je ograničen, pa optimizacija i poboljšanje korišćenja postojećih resursa postaje jedina mogućnost za obezbeđenje komparativne prednosti u sve oštrijoj konkurenciji. Sve strožiji zakonski propisi i sindikalni zahtevi značajno usložnjavaju ovaj problem. Pored toga, propisi koji se odnose na lučke radnike nisu usaglašeni ni na nivou Evropske unije. Evropska komisija je Evropskom parlamentu dva puta dostavljala predlog zajedničke politike za sve luke u Evropskoj uniji, ali su oba predloga odbijena (Serra *et al.*, 2016).

Budući da su obalske dizalice, pored operativne obale najskuplji i najviše ograničen resurs u kontejnerskim terminalima, uobičajeno je da se za njih prvo formira plan rada na osnovu ili zajedno sa dodeljivanjem operativne obale brodovima, a nakon toga formira se plan rada ostalih transportno pretovarnih sredstava. Nakon formiranja plana rada svih transportno pretovarnih sredstava, svakom radnom segmentu za svako pojedinačno sredstvo potrebno je dodeliti radnike koji će upravljati ovim sredstvom. U ovom radu opisali smo i matematički formulisali ovaj problem bazirajući se na propisima i pravilima koji se primenjuju u većini luka opisanih u postojećoj literaturi.

U drugom poglavlju dat je kratak pregled radova u kojima su proučavani problemi raspoređivanja radnika u kontejnerskim terminalima. U trećem poglavlju opisan je i matematički formulisan problem, a u četvrtom su predstavljeni rezultati testiranja. U poslednjem poglavlju data su zaključna razmatranja.

2. PREGLED LITERATURE

U postojećoj literaturu opisani su, matematički modelirani i rešavani brojni problemi koji se odnose na operativni plan rada resursa u kontejnerskim terminalima. Međutim, od svih resursa kontejnerskih terminala, radnicima je posvećeno najmanje pažnje. Lim *et al*. (2004) motivisani potrebama luke Port of Singapore Autority (PSA) matematički su modelirali i rešavali problem raspoređivanja servisera koji polaze iz centralnog depoa, obavljaju zadatke na pojedinim lokacijama u terminalu i vraćaju se u depo. Hartmann (2005) je predložio opšti matematički model za različite probleme raspoređivanja u kontejnerskom terminalu. U radu je opisano i kako se ovaj model može koristiti za rešavanje nekoliko realnih problema raspoređivanja u luci u Hamburgu. Kim *et al*. (2004) su proučavali i rešavali problem raspoređivanja radnika, koji upravljaju transportno pretovarnim sredstvima, na zadake u luci Pusan u Južnoj Koreji. Problem raspoređivanja su modelirali kao problem zadovoljenja ograničenja. Legato i Monaco (2004) su matematički modelirali i rešavali dva problema raspoređivanja obalskih radnika u luci Gioia Tauro u Italiji. Prvi problem se odnosi na duži planski period za koji je potrebno odrediti smene radnicima terminala, dok se drugi problem odnosi na kraći vremenski period za koji je potrebno odrediti i smene i zadatke. Za isti problem za luke Goioa Tauro i Cagliari Transhipment Container Terminal razvijeno je više matematičkih modela i za rešavanje je predloženo više metoda (Francesco *et al*., 2015, Francesco *et al*., 2016).

3. OPIS PROBLEMA

Budući da na očekivano vreme pristajanja broda utiču brojni faktori (zadržavanje broda u prethodnim lukama, vremenske prilike itd.) i da smene radnika terminala, zbog sindikalnih zahteva i zakonskih propisa, moraju da budu određene unapred, operatori terminala su suočeni sa velikom fluktacijom zahtevanog obima rada u vremenu koji moraju da ispune sa ograničenim brojem unapred raspoređenih radnika (Francesco *et al*. 2016). Da bi obezbedili kontinualno pružanje usluge u ovim okolnostima operatori terminala imaju na raspolaganju fleksibilnu smenu, koja se u zavisnosti od tražnje pretvara u jednu od regularnih smena. Fleksibilnost radne snage ogleda se u broju radnika koje operator terminala ima na raspolaganju (stalno zaposlenih i unajmljenih radnika); u broju zadataka za koje su radnici obučeni, u trajanju smene (Notteboom, 2010).

Ako radno vreme terminala podelimo na jednočasovne vremenske segmente $T = \{1, 2, 3, \ldots, 24\}$, onda smene možemo da definišemo kao fiksni broj uzastopnih vremenskih segmenata. Uobičajeno radno vreme terminala je 24h i najčešće je podeljeno na 3 ili 4 smene. Radnike terminala, na osnovu dodeljenih smena u posmatranom danu, možemo podeliti u tri grupe:

- Prvu grupu čine radnici terminala kojima je određena jedna od 3 ili 4 regularne smene. Ovim radnicima potrebno je dodeliti zadatke u okviru već dodeljene smene i eventualno prekovremeni rad koji će biti dodatno plaćen.
- Drugu grupu čine radnici kojima je dodeljena fleksibilna smena, što znači da će oni raditi u planiranom danu. Potrebno je odrediti smenu u kojoj će oni raditi i zadatke koje će obavljati.
- Treću grupu čine radnici koji su slobodni u planiranom danu.

Operator terminala, po potrebi, u slučaju nedostatka radnika terminala, može da unajmi radnike za koje je cena obavljanja zadataka viša u odnosu na cenu po kojoj radnici terminala obavljaju iste zadatke. Radnici mogu da budu unajmljeni na početku bilo kog vremenskog segmenta u toku dana, pri čemu je broj vremenskih segmenta za koji mogu da budu unajmljeni ograničen. Posle određenog broja radnih vremenskih segmenata, svakom radniku mora da bude dodeljena pauza u tajanju od najmanje jednog vremenskog segmenta. Radnik može da upravlja transportno pretovarnim sredstvom ukoliko ima odgovarajući ili viši stepen obučenosti od stepena koji je potreban za upravljanje datim sredstvom. Iako su radnici podeljeni prema stepenu obučenosti i među radnicima sa istim stepenom obučenosti postoji raznika. Radnici sa većim iskustvom imaju veću produktivnost. Pored toga, ukoliko radnik ima veće iskustvo u upravljanju određenim tipom transportno pretovarnog sredstva manja je verovatnoća da će doći do greške i nezgode. U cilju kvantifikacije iskustva i preferencije radnika za upravljanje određenim transportno pretovarnim sredstvom, definisali smo indeks preferencije.

U ovom radu data je višekriterijumska matematička formulacija kojom se raspoređuju radnici koji upravljaju transportno pretovarnim sredstvima u lučkom kontejnerskom terminalu. Za matematičko formulisanje opisanog problema definisani su sledeći skupovi, parametri i promenljive.

Skupovi:

T – skup vremenskih segmenata u toku dana,

I – skup transportno pretovarnih sredstava aktivnih u posmatranom danu,

S – skup smena u posmatranom danu,

W – skup svih radnika, radnika terminala koji rade u posmatranom danu i radnika koje operator terminala može da unajmi,

WT – skup radnika terminala koji rade u posmatranom danu, $WT \subset W$,

WU – skup radnika koje operator terminala može da unajmi, $WU \subset W$,

WD – skup radnika terminala kojima može biti dodeljen prekovremeni rad $WD \subset W$,

WF – skup radnika terminala kojima je dodeljena fleksibilna smena $WF \subset W$,

WS – skup radnika terminala kojima je dodeljena regularna smena $WS \subset W$,

Parametri:

ek_i – stepen obučenosti potreban za upravljanje transportno-pretovarnim sredstvom i

k_w – stepen obučenosti radnika w, $\forall w \in W$,

s_w – smena koja je dodeljena radniku terminala w, $\forall w \in WS$

p_{wi} – indeks preferencije radnika w za upravljanje transportno pretovarnim sredstvom i, $\forall w \in W$,

e_{it} – parametar koji se generiše iz rasporeda rada transportno pretovarnih sredstava, ako je transportno pretovarno sredstvo i aktivno u vremenskom segmentu t onda je $e_{it} = 1$,

m – maksimalan broj uzastopnih vremenskih segmenata u kojima radnik može da obavlja zadatke bez pauze,

d_{max} – maksimalni broj vremenskih segmenata koji radniku može biti dodeljen nakon regularne smene (prekovremeni rad),

u_{max} – maksimalan broj vremenskih segmenata za koje unajmljni radnici mogu da budu angažovani uključujući i pauze,

Promenljive:

x_{wit} – binarna promenljiva, $x_{wit} = 1$ ako radnik w upravlja transportno pretovarnim sredstvom i u vremenskom segmentu t, $\forall w \in W, i \in I, t \in T$

z_{wt} – zavisna binarna promenljiva, $z_{wt} = 1$ ako je radnik w upravlja nekim transportno pretovarnim sredstvom u vremenskom segmentu t, $\forall w \in W, t \in T$

n_w – zavisna binarna promenljiva, $n_w = 1$ ako je radnik w unajmljen za obavljanje zadataka u posmatranom danu, $\forall w \in WU$,

a_w – zavisna celobrojna promenljiva, vremenski segment u kom počinje sa radom unajmljeni radnik w, $\forall w \in WU$,

b_w – zavisna celobrojna promenljiva, vremenski segment u kom završava sa radom unajmljeni radnik w, $\forall w \in WU$,

f_w – zavisna celobrojna promenljiva, smena koja je dodeljena radniku , $\forall w \in WF, f_w \in S$.

Imajući u vidu činjenicu da unajmljivanje radnika dovodi do povećanja troškova radnika, u ovom radu smo definisali kriterijumsku funkciju kojom se minimizira broj unajmljenih radnika (1). Pored ove kriterijumske funkcije, u radu smo definisali i kriterijumsku funkciju koja prestavlja ukupnu preferenciju, a u cilju povećanja produktivnosti i smanjenja rizika pojave grešaka preko kvantifikacije iskustva (2).

$$minF_1 = \sum_{w \in WU} n_w \tag{1}$$

$$maxF_2 = \sum_{w \in W} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} p_{wi} \cdot x_{wit} \tag{2}$$

$$\sum_{w \in W} x_{wit} = e_{it} \qquad \forall i \in I, t \in T \tag{3}$$

$$ek_i \cdot x_{wit} \le k_w \qquad \forall w \in W, i \in I, t \in T \tag{4}$$

$$z_{wt} = \sum_{i \in I} x_{wit} \qquad \forall w \in W, t \in T \tag{5}$$

$$\sum_{t'=t}^{t+m} z_{wt} \le m \qquad \forall w \in W, t = \overline{1, |T| - m} \tag{6}$$

$$t \cdot z_{wt} \le f_w \cdot \tau \qquad \forall w \in WF \setminus WD, t \in T \tag{7}$$

$$t \cdot z_{wt} + (1 - z_{wt}) \cdot M \ge (f_w - 1) \cdot \tau + 1 \qquad \forall w \in WF, t \in T \tag{8}$$

$$t \cdot z_{wt} + (1 - z_{wt}) \cdot M \le f_w \cdot \tau + d_{max} \qquad \forall w \in WD \cap WF, t \in T \tag{9}$$

$$t \cdot z_{wt} + (1 - z_{wt}) \cdot M \ge a_w \qquad \forall w \in WU, t \in T \tag{10}$$

$$t \cdot z_{wt} \le b_w \qquad \forall w \in WU, t \in T \tag{11}$$

$$b_w - a_w + 1 \le u_{max} \qquad \forall w \in WU \tag{12}$$

$$\sum_{t \in T} z_{wt} \le M \cdot n_w \qquad \forall w \in W \tag{13}$$

$$\sum_{t \in T} z_{wt} \ge n_w \qquad \forall w \in W \tag{14}$$

$$z_{wt} = 0 \qquad \forall w \in WS \setminus WD, t \in T \setminus \{(s_w - 1) \cdot \tau + 1, \ldots, s_w \cdot \tau\} \tag{15}$$

$$z_{wt} = 0 \qquad \forall w \in WS \cap WD, t \in T \setminus \{(s_w - 1) \cdot \tau + 1, \ldots, s_w \cdot \tau + d_{max}\} \tag{16}$$

$$n_w = 1 \qquad \forall w \in WT \tag{17}$$

Za svaki vremenski segment u kom je transportno pretovarno sredstvo aktivno mora da bude određen radnik koji će da upravlja ovim sredstvom (3). Radnik mora imati odgovarajući ili viši stepen obučenosti od onog koji je potreban za upravljanje dodeljenim transportno pretovarnim sredstvom (4). Ograničenjem (5) definiše se vrednost zavisne binarne promenljive. Posle maksimalnog broja uzastopnih vremenskih segmenata u kojima radnik obavlja dodeljene zadatke, radnik mora da napravi pauzu u trajanju od najmanje jednog vremenskog segmenta (6). Radnicima terminala kojima nije određena smena, potrebno je dodeliti i smenu i zadatak (7) i (8), i eventualno prekovremeni rad ukoliko radnik pripada skupu WD (9). Operator terminala može da unajmi radnike na početku bilo kog vremenskog segmentu u toku dana, pri čemu je maksimalni broj vremenskih segmenata za koji radnici mogu da budu unajmljeni, uključujući i pauze, u_{max} (10), (11) i (12). Ograničenjima (13) i (14) definišu se zavisne binarne promenljive. Radnicima terminala kojima je već određena smena moraju biti dodeljeni zadaci u već dodeljenoj smeni i eventualno prekovremeni rad u trajanju od maksimalno d_{max} vremenskih segmenata koji se nastavljaju na dodeljenu smenu (15) i (16). Svim radnicima terminala, koji rade u posmatranom danu, moraju biti dodeljeni zadaci (17).

4. NUMERIČKI PRIMERI I REZULTATI

Za rešavanje predloženog modela višekriterijumske optimizacije koristili smo Leksikografsku metodu. Budući da prva kriterijumska funkcija, broj unajmljenih radnika utiče na troškove radnika ovoj kriterijumskoj funkciji smo dodelili veći značaj. Za svaku kriterijumsku funkciju rešava se po jedan zadatak jednokriterijumske optimizacije:

$$minF_1$$

po ograničenjima:

(3)-(17)

i za drugu kriterijumsku funkciju:

$$maxF_2$$

po ograničenjima:

(3)-(17)

$$F_1 \leq F_1^* \tag{18}$$

gde je F_1^* vrednost kriterijumske funkcije dobijena rešavanjem prvog zadatka jednokriterijumske optimizacije.

Predloženi matematički model testirali smo na nekoliko numeričkih primera prikazanih u Tabeli 1. Budući da u postojećoj literaturi ne postoje numerički primeri koje bismo mogli da koristimo za poređenje, parametre za numeričke primere smo generisali koristeći diskretnu Ravnomernu raspodelu: ek_i=U(1,3), k_w=U(1,3), s_w=U(1,4); Ravnomernu raspodelu: p_{wi}=U(0,1) i Binomnu raspodelu: e_{it}=B(1,0,5). Vrednosti ostalih parametara u svim primerima su: m=3, d_{max}=3 i u_{max}=10.

Za programiranje i rešavanje definisanih zadataka jednokriterijumske optimizacije korišćeni su Matlab i Cplex 12.6.

Tabela 1. Rezultati testiranja

Numerički primeri		F_1^*	F_2^*
1.	|W|=15	5	23,77
	|WT|=5		
	|I|=3		
2.	|W|=20	7	39,76
	|WT|=5		
	|I|=4		
3.	|W|=25	8	51,47
	|WT|=6		
	|I|=6		
4.	|W|=30	8	58,94
	|WT|=5		
	|I|=5		
5.	|W|=35	5	60,83
	|WT|=5		
	|I|=7		

5. ZAKLJUČAK

Iako u kontejnerskim terminalima radnici predstavljaju resurs koji može obezbediti komparativnu prednost u sve oštrijoj konkurenciji, u postojećoj literaturi je mali broj radova koji proučavaju ovaj problem. U radu je detaljno opisan i matematički modeliran problem raspoređivanja radnika koji upravljaju transportno pretovarnim sredstvina na zadatke, uzimajući u obzir realna ograničenja, bazirana na propisima i pravilima koji se primenjuju u kontejnerskim terminalima kao što su Pusan, Goio Taura i Cagliari Transhipment Container Terminal. Pored toga, predloženi model višekriterijumske optimizacije testiran je na nekoliko numeričkih primera.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, kroz projekat TR 36002.

LITERATURA

[1] Francesco, M. D., Díaz-Maroto Llorente, N., Zanda, S., & Zuddas, P. (2016). An optimization model for the short-term manpower planning problem in transhipment container terminals. Computers & Industrial Engineering, 97, 183–190.

[2] Francesco, M. D., Fancello, G., Serra, P., & Zuddas, P. (2015). Optimal management of human resources in transhipment container ports. Maritime Policy & Management, 42(2), 127–144.

[3] Gkonis, K. G., & Psaraftis, H. N. (2010). Some Key Variables Affecting Liner Shipping costs. National Technical University of Athens Athens, Greece.

[4] Hartmann, S. (2005). A general framework for scheduling equipment and manpower at container terminals. In P. D. H.-O. Günther & P. K. H. Kim (Eds.), Container Terminals and Automated Transport Systems (pp. 207–230). Springer Berlin Heidelberg.

[5] Kim, K.H., Kim, K.W., Hwang, H., Ko, C.S., (2004). Operator-scheduling using a constraint satisfaction technique in port container terminals. Computers and Industrial Engineering 46(2), pp. 373–381.

[6] Legato, P., & Monaco, M. F. (2004). Human resources management at a marine container terminal. European Journal of Operational Research, 156(3), 769–781.

[7] Lim, A., Rodrigues, B., & Song, L. (2004). Manpower Allocation with Time Windows. The Journal of the Operational Research Society, 55(11), 1178–1186.

[8] Notteboom, T. (2010). Dock labour and port related employment in the European port system. Key factors to port competitiveness and reform. Proceedings of the ESPO 2010 Conference, Helsinki, Finland, 27-28 May 2010.

[9] Serra, P., Fadda, P., & Fancello, G. (2016). Evaluation of alternative scenarios of labour flexibility for dockworkers in maritime container terminals. Maritime Policy & Management, 43(3), 371–385.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017
SAOPŠTENJE

ODRŽIVOST POŠTANSKIH USLUGA U RURALNOM PODRUČJU I NJIHOV ZNAČAJ ZA REGIONALNI RAZVOJ

SUSTAINABILITY OF POSTAL SERVICES IN RURAL AREAS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR REGIONAL DEVELOPMENT

JELENA MILUTINOVIĆ[1], BILJANA GRGUROVIĆ[2], SLAVICA RADOSAVLJEVIĆ[3], MIRJANA POPOVIĆ[4]

[1] Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, jelena.milutinovic@ict.edu.rs
[2] Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, biljana.grgurovic@ict.edu.rs
[3] Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, slavica.radosavljevic@ict.edu.rs
[4] Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, mirjana.popovic@ict.edu.rs

Rezime: *Poštanski saobraćaj je posebna grana saobraćaja koja se bavi prenosom pisanih, štampanih, elektronskih i na drugi način oblikovanih saopštenja, prenosom robe i vršenjem poštansko-finansijskih usluga između prostorno razdvojenih subjekata u javnom unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju. Na ovaj način ostvareni komunikacioni tokovi koji povezuju mesto prijema i uručenja, predstavljaju dragocene podatke o raznovrsnim aktivnostima stanovništva u različitim regijama. U ovom radu je dat pregled najznačajnijih pozitivnih efekata, kako za pravna, tako i za fizička lica, koje pošta i poštanske usluge imaju u regionalnom razvoju, odnosno povezivanju ruralnih, siromašnih i retko naseljenih oblasti.*

Ključne reči: *socijalna vrednost, poštanske usluge*

Abstract: *Postal services are a specific branch that deals with transporting written, printed, electronic, and other announcements, transporting goods and providing postal-financial services between spatially remote subjects in public national and international traffic. In this way, the conducted communicational streams that connect the pickup and delivery locations provide invaluable information on various activities of the population in different regions. This paper represents an overview of the most significant positive effects of postal services in regional development, i.e. interconnecting rural, destitute, and underpopulated areas for legal entities as well as individuals.*

Keywords: *social value, postal services*

1. UVOD

Pošta, sa svojom infrastrukturom, zasnovana na principima univerzalnosti i dostupnosti i tradicionalnog poverenja, javlja se kao nosilac procesa uključenja marginalizovanih ili diskriminisanih grupa u društvene i legalne finansijske tokove, a sa druge strane i pravnih lica – malih i srednjih preduzeća za koja nije racionalno da razvijaju sopstvenu logističku podršku. Lancem snabdevanja koji se organizuje kroz poštanske tokove povezuje se mesto proizvodnje i mesto potrošnje uz istovremeno organizovan i tok informacija i tok novca. Potrebe navedenih grupa korisnika su različite, pa svaka od njih zahteva poseban pristup - segmentaciju korisnika po različitim kriterijumima i formiranje adekvatne ponude za specifične zahteve grupa korisnika uz brigu o očuvanju lokalnih zajednica i zaštitu najranjivijih grupa. Pri tome se različitim metodologijama mogu izračunati materijalne koristi koncepta univerzalne usluge koja se pod jednakim uslovima pruža na celoj nacionalnoj teritoriji, ali njen humani aspekt i značaj koji ima za različite kategorije pravnih i fizičkih lica je vrlo zahtevno izraziti i kvantitativno i kvalitativno. U ovom radu je dat pregled najznačajnijih efekata poštanskih usluga, odnosno socijalne vrednosti za fizička lica i mala i srednja preduzeća i to u ruralnim delovima zemlje koji, statistički, najviše trpe od posledica socijalne i finansijske isključenosti. U radu je takođe ukazano i na značaj poštanskog sistema u opisivanju socio-ekonomskog profila zemlje kao jednom od slojeva u mrežnoj strukturi fizičkih i digitalnih tokova.

2. UNIVERZALNA POŠTANSKA USLUGA

Univerzalna poštanska usluga predstavlja skup osnovnih poštanskih usluga koje se obavljaju u kontinuitetu, na teritoriji Republike Srbije, u okviru propisanog kvaliteta, po pristupačnim cenama i pod jednakim

uslovima za sve korisnike, bez diskriminacije. Na osnovu licence dobijene od Regulatorne agencije za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL) JP „Pošta Srbije“ (JPO), u cilju obezbeđenja obavljanja univerzalne poštanske usluge, ima obavezu da svako mesto nacionalne teritorije uključi u područje jedne od jedinica poštanske mreže (JPM) tako da i korisnici koji žive u perifernim, retko naseljenim područjima mogu potraživati usluge iz ove grupacije. Princip dostupnosti se ostvaruje prema standardima gde se, u zavisnosti od utvrđenog kriterijuma, locira određeni kapacitet poštanske mreže koji će odgovarati obimu potražnje usluga i zahtevanom kvalitetu, uz efikasno i ekonomično poslovanje. Licencu mogu dobiti i drugi provajderi poštanskih usluga, ali praksa pokazuje da trenutno niko od privatnih operatora nije za to zainteresovan. Pokrivena teritorija predstavlja jedinstveno područje poštanske mreže. Ovo za uslove u Republici Srbiji praktično znači da jedino JPO ima obavezu da svojim uslugama pokrije površinu od 88.361km^2 gde prema procenama za 2015. godinu živi oko 7.115.000 stanovnika (bez Kosova i Metohije).

3. SOCIJALNA VREDNOST POŠTANSKE USLUGE

Poštanski tokovi su pokazatelj socio-ekonomskih aktivnosti na nekom području. Jasno je da postojanje mogućnosti uspostavljanja različitih interakcija, odnosno izvršenja različitih usluga, dovodi i do povećanja ukupnog obima izvršenih usluga. To praktično znači da pošte koje nude veći broj različitih usluga na neki način svoje korisnike istovremeno i motivišu da iskoriste sve ili neke od tih mogućnosti.

Međutim, nedovoljna investiciona ulaganja, nedostatak ruralne politike i strategije za razvoj nerazvijenih područja, njihova tradicionalna zaostalost, utiču na izvestan stepen deprivacije određenog broja stanovništva i u oblasti poštanskog saobraćaja. Težnja ka profitabilnom poslovanju JPO je, s jedne strane opravdana, ali, s druge strane, utiče na poslovnu politiku čiji je cilj smanjenje troškova što ima za posledicu zatvaranje kapaciteta, realokaciju ili promenu načina poslovanja. Sve to ima implikacije na lokalno stanovništvo.

Mada univerzalna poštanska usluga, posebno onaj njen deo koji se bazira na pisanoj korespodenciji, može da izgleda prilično anahrono u elektronsko doba, moguće je identifikovati mnoge socijalne vrednosti ove grupacije usluga kako za pojedince, tako i za zajednice i nacije.

Za razliku od ekonomske vrednosti usluge koja podrazumeva poboljšanje tržišne vrednosti nečega, socijalna vrednost se stvara kada usluga dovodi do poboljšanja u životima pojedinaca ili celokupnog društva. Iz tog razloga, socijalna vrednost se na neki način može posmatrati kao „socijalno davanje" koje dovodi do neke dobrobiti, ali koje je teško kvantifikovati. Ova vrsta socijalnog davanja razlikuju od socijalnog davanja u ekonomskom smislu. Postoje neke usluge koje istovremeno obezbeđuju i ekonomsku i socijalnu vrednost. Kao primer može poslužiti sekogram. Usluga prenosa ove pošiljke se ne naplaćuje što je čista ekonomska korist. S druge strane, rezultat je i poboljšanje u životima slepih lica koji inače ne bi mogli sebi da priušte takav materijal za čitanje.

Identifikacija i kategorizacija *socijalne koristi* je prvi korak u merenju *socijalne vrednosti* poštanskih usluga. U literaturi se može naći nekoliko različitih pristupa prilikom pokušaja kvantifikacije ili preciznog definisanja socijalne vrednosti poštanske mreže i poštanskih usluga. U *A Framework for Considering the Social Value of Postal Services* (videti Urban Institute (2010)) dat je pregled najznačajnijih metoda koje su korišćene do tad za ovu svrhu.

Autori su identifikovali osam kategorija različitih benefita:

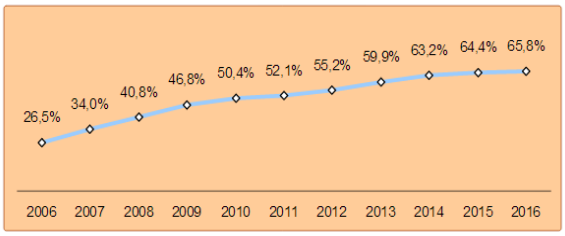
- korist za korisnika – teritorijana dostupnost i univerzalnost, tržišne cene različitih usluga, pristup dobrima i servisima za starije korisnike, vojnike, imigrante i raseljena lica i korisnike sa niskim primanjima, putnike, beskućnike;
- poslovne prednosti – razvoj malih i srednjih preduzeća u ruralnim sredinama i udaljenim lokacijama, podrška kataloškoj prodaji, pozitivan uticaj na poslovanje okolnih poslovnih objekata;
- bezbednost i sigurnost – tajnost korespondencije, uloga prevoznika pošte u nadgledanju promena u lokalnoj zajednici, uloga poštanskih usluga u ponovnom kontaktu sa stanovništvom nakon velikih prirodnih katastrofa i saradnja sa humanitarnim i neprofitnim organizacijama, u civilnoj odbrani i bio-medicinsko reagovanje u vanrednim situacijama, saradnja sa državnim organima u cilju sprečavanja zloupotreba i pranja novca;
- ekološke prednosti – smanjenje emisije ugljenika i korišćenja fosilnih goriva kroz pružanje usluge first mile i last mile u ime drugih organizacija i optimizacija rejona i preuzimanje pošiljaka na adresi što vodi smanjenju ukupnog broja vozila, omogućavanje online kupovine i pojednostavljivanje procedure vraćanja robe, obezbeđivanje sredstava za reciklažu papira i elektronskih uređaja kao što su mobilni telefoni;
- omogućava komunikaciju sa državnom upravom - glasanje putem pošte, popis, registracija birača, prijava izgubljenih dokumenata, apliciranje za izdavanje dokumenata, saradnja sa različitim državnim službama, vladina dokumenta;

- omogućava razmenu informacija uključujući promet časopisa, novina, biltena, magazina, razmena informacija u lokalnoj zajednici, istaknuta upozorenja, obaveštenja u poštama;
- ostvaruje društvene veze – razmena lične korespondencije, slanje čestitki, razglednica, telegrama saučešća, izjava zahvalnosti i slično i ostvarivanje veza stanovništva i zaposlenih u poštama i tačka ostvarivanja društvenih kontakata naročito za izolovane grupe ljudi;
- jačanje patriotizma, nacionalne svesti, građanskog ponosa i identiteta zajednice.

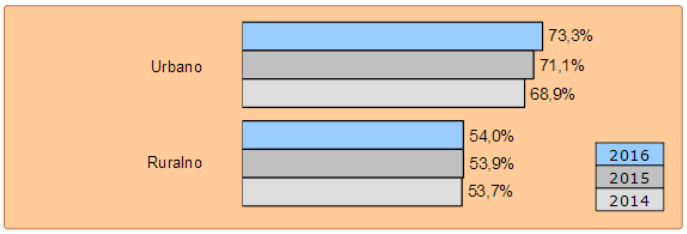
Na osnovu primera iz svetske prakse jasno je da su i pojedinačni korisnici i mala i srednja preduzeća, svedoci pozitivne uloge pošte u socijalnoj inkluziji i imaju pozitivan stav po pitanju uticaja ove organizacije na razvoj ruralnih područja. Obe ove grupacije, naravno, identifikuju iste one prednosti koje osećaju i korisnici u urbanim sredinama. Fizička lica po pravilu potražuju usluge koje njihove osnovne i dodatne potrebe po pitanju komunikacija, dolaženja u posed neke robe ili, pak, finansijskih usluga. Mala i srednja preduzeća su ciljna grupa poštansko-logističkog servisa. Šta je to što ih razlikuje?

4. IDENTIFIKOVANJE PREDNOSTI ZA FIZIČKA LICA

Poznato je da dostavljači na širem i najširem području pošte, vršeći uručenje i prijem pošiljaka, uplate i isplate novca, predstavljaju pokretni šalter pošte. Iz tog razloga se može tvrditi da je jedna od glavnih socijalnih vrednosti poštanskih usluga sigurno omogućavanje pristupa dobrima i uslugama najugroženijim i najosetljivijim društvenim grupama čak i u onom delu koji podrazumeva osnovno pravo na komunikacije. Podaci o (ne)posedovanju kućnih računara, odnosno podaci o (ne)postojanju mogućnosti za internet konekciju, mogu dati sliku o tome gde su locirane ove grupe korisnika (videti RZSS, 2016)



Slika 1: Računari u domaćinstvima



Slika 2: Procenat domaćinstava koja poseduju računar

Za stanovništvo ruralnih regija samo prisustvo JPO i njegova funkcionalnost podrazumeva i mogućnost da se na taj način privuku i drugi operatori. Kao posledica toga moglo bi se očekivati povećanje kvaliteta usluga i pad cene. Povećanje ili smanjenje cena usluga u nekom vremenskom intervalu je odličan pokazatelj uticaja postojanja konkurencije u određenoj oblasti na određenom području. Pre liberalizacije na teritoriji Srbije je postojao samo jedan davalac poštanskih usluga, a danas RATEL izdaje odobrenja za obavljanje poštanskih usluga na delu ili celoj nacionalnoj teritoriji za određeni opseg ili sve usluge koje pripadaju komercijalnom servisu. Do 2017. godine izdato je 93 odobrenja.

Invalidi ili starije osobe mogu doći u posed neke robe samo ako im ona bude dostavljena na kućnu adresu. Na isti način robu mogu i vratiti ako su nezadovoljni iz bilo kog razloga. Demografski podaci o, na ovaj način, ugroženom stanovništvu, mogu biti od velike koristi. Prema rezultatima popisa iz 2011. godine u Srbiji je 17,25% stanovnika starije od 65 godina. Prema istom izvoru na teritoriji RS 7,96% stanovništva ima neki invaliditet. Relativno je visoka zastupljenost novčanih prihoda u domaćinstvu, ali su oni nedovoljni i to se ispoljava kao subjektivni osećaj siromaštva.

Kada se ovi podaci uzmu u obzir jasno je koliko razgranata mreža pristupnih tačaka može doprineti formiranju stava o bezbednom slanje pošiljaka bez potrebe za prelaženjem velikih rastojanja. Dostupnost je u ovom slučaju svojstvo usluge koje privlači značajan segment korisnika. Prilikom ocene ovog svojstva, korisnici mogu govoriti o dostupnosti na sledeći način:

$D_1 = f$(mesto pojavljivanja zahteva, lokacija Pošte)

$D_2 = f$(mesto pojavljivanja zahteva, lokacija adekvatnog sredstva poštanske mreže)

$D_3 = f$(vreme pojavljivanja zahteva, vreme kada je moguće zahtevati uslugu)

$D_4 = f$(očekivana dostupnost, ponuđena dostupnost)

.....

JPO su u obavezi da univerzalne poštanske usluge nude i pružaju bez bilo kakve diskriminacije. Za razliku od njega, privatni provajderi mogu definisati posebne cene za ruralne oblasti posebno u slučajevima kada je brzina bitno svojstvo usluge za krajnjeg korisnika. Informacije potrebne za analizu ovakvih trendova lako se dobijaju poređenjem cena usluga koje zadovoljavaju slične potrebe korisnika.

Podaci o promenama adrese korisnika ukazuju na još jednu prednost JPO u odnosu na privatne operatore. Dostava pošiljaka na novu adresu u određenom vremenskom intervalu uglavnom je svojstvena samo JPO.

Jedna od usluga koja se ne mora ubrajati u univerzalne, a koja je veoma bitna stanovništvu ruralnih područja je i dostava lekova. O socijalnoj vrednosti ove usluge govore podaci o procenjenom broju recepata ili lekova koji se dostavljaju posredstvom poštanske mreže. U 2008. godini u SAD-u bilo je uručeno 238 miliona lekova/recepata posredstvom pošte što je oko 6,7 % od ukupnog broja (videti N. Pindus *et al.* 2010).

U ovakvom slučaju mogućnost brzog izvršenja je važna komponenta koja opredeljuje korisnika da izabere određenu uslugu. Podrazumeva neki vremenski interval koji se sastoji od određenih parcijalnih vremena koja za njih mogu imati različitu važnost. Prilikom ocene ovog svojstva, korisnici mogu govoriti o brzini na sledeći način:

$B_1 = f$(vreme pojavljivanja zahteva, vreme realizacije usluge)

$B_2 = f$(zahtevani rokovi, realizovani rokovi)

$B_3 = f$(obećani rokovi, realizovani rokovi)

.....

Ako se posmatra oblast prenosa reklamnog materijala, posebno kataloga, jasno je koliko je mogućnost upoređivanja cena i naručivanja robe preko telefona ili interneta bitna za korisnike niže platežne sposobnosti, pa je raspoloživost svojstvo usluge na koje je usmerena pažnja. Pristup i kupovina robi široke potrošnje na ovaj način omogućava ne samo uštedu vremena, već i eliminisanje troškova nastalih zbog potrebe za prevozom do određene lokacije. Takođe, ne sme biti zanemareno ni smanjenje negativnih ekoloških efekata. Podaci o broju ovih korisnika ukazuje na područja koja mogu postati deo nekog ciljnog tržišta. Prema podacima Centra za socijalnu politiku 7-8% ljudi u Srbiji živi u teškoj situaciji i to se vidi u njihovoj potrošnji, dok je po drugoj metodologiji čak četvrtina stanovništva u riziku od siromaštva.

Raspoloživost se može opisati pokrivenošću tržišta odgovarajućom distributivnom mrežom, raspoloživošću transportnih sredstava i sredstava rada, pokrivenošću teritorije ovom uslugom i sl.

$R_1 = f$(zahtevano mesto, pokriveno mesto)

$R_2 = f$(vreme pojavljivanja zahteva, vreme realizacije zahteva)

$R_3 = f$(raspoloživa transportna sredstva, potrebna transportna sredstva)

.....

Socijalnoj ekskluziji posebno su izloženi stanovnici niže platežne sposobnosti. Iako istraživanja (videti Položaj starijih na selu, 2016) pokazuju da je relativno visoka zastupljenost novčanih prihoda u domaćinstvu, ona su ipak nedovoljna te egzistira subjektivni osećaj siromaštva.

Svojstvo usluge koje igra glavnu ulogu za ovaj segment korisnika je sigurnost. Sigurnost može označavati poverenje u kvalitet usluge koju nudi provajder, poštovanje dogovora, postojanje usluge koja odgovara njihovim potrebama ili čija cena odgovara njihovim mogućnostima i sl.

$S_1 = f$(obećana usluga, ostvarena usluga)

$S_2 = f$(očekivana usluga, ostvarena usluga)

$S_3 = f$(obećan kvalitet, ostvaren kvalitet)

$S_4 = f$(očekivana poštarina, zahtevana poštarina)

.....

Ista ova grupacija korisnika po pravilu, po pitanju korišćenja novih tehnologija, oseća i veliki nedostatak samopouzdanja, ali i nepoverenja. Iz tog razloga, JPM u takvim sredinama mogu predstavljati pristupnu tačku, kako za edukaciju stanovništva, tako i za realizaciju usluga komunikacije sa državnim institucijama i usluga elektronske trgovine.

Mnogi korisnici zbog neposedovanja bankarskog računa ili zbog toga što ne koriste internet ne praktikuju on lajn bankarstvo. Plaćanje računa putem pošte za njih je veoma bitno. Merodavan podatak koji može biti od koristi je procenat stanovništva koji svoje obaveze izvršava na ovaj način ili definisanje područja gde su locirani korisnici koji preferiraju finansijske usluge posredstvom poštanske mreže.

Pružanje finansijskih usluga domaćinstvima sa malim i srednjim prihodima i posebne usluge namenjene licima van tradicionalnih bankarskih tokova (migranti, raseljena lica, azilanti) čine značajan pomak za socijalnu i finansijsku inkluziju, odnosno saradnju i interkonekciju poštanskih mreža u stvaranju zajedničkih standarda i povećanju efikasnosti i efektivnosti. Humani aspekt na kome je zasnovan ovaj koncept, postaje dobar okvir za razvoj novih servisa prilagođenih konkretnim potrebama korisnika, ali i efikasnije korišćenje infrastrukture jer, po poslednjim analizama, u Srbiji nešto više od 10% opština nema banku, pa se pošta javlja kao jedina pristupna tačka za sve vrste finansijskih servisa.

Tradicionalno, poštanski servisi se koriste da olakšaju komunikaciju između građana i/ili privrednih subjekata. Elektronski poštanski servisi su komunikacioni servisi koji se pružaju korisnicima posredstvom informaciono-komunikacionih tehnologija i predstavljaju pogodan način da se nerazvijena područja povežu

sa nekim od razvijenih zemalja sa kojima ostvaruju značajan novčani tok zbog migracija, u cilju povezivanja migranata sa svojim porodicama i legalizovanja tokova novca.

Ovo su samo neke od prednosti koje mogu osetiti starija lica, invalidi, socijalno ugroženi, stanovnici ruralnih područja, imigranti...

5. IDENTIFIKOVANJE PREDNOSTI ZA MALA I SREDNJA PREDUZEĆA

Na kongresu Svetskog poštanskog saveza u Ženevi jedan od akcenata stavljen je na podršku svetske poštanske mreže malim i srednjim preduzećima u globalnom tržištu e-trgovine, uključujući digitalne, finansijske i logističke usluge. Poštanska mreža svojim uslugama može omogućiti ovim preduzećima smanjenje njihovih troškova i širenje poslova kako na domaćim tržištima, tako i globalno.

Kada se govori o malim i srednjim preduzećima, moraju se imati u vidu i ona preduzeća koja su locirana u urbanim sredinama a imaju potrebu za povezivanjem sa svojim korisnicima nastanjenim u ruralnim sredinama, kao i o preduzećima lociranim u ruralnim sredinama, koja imaju potrebu da se povežu sa svojim korisnicima nastanjenim u urbanim sredinama. Po pitanju dostupnosti i raspoloživosti poštanskih kapaciteta njihovi zahtevi su poprilično slični, ali, ipak, ovde ćemo se ograničiti samo na posmatranje druge grupacije. Ruralna područja zahvataju 85% teritorije Srbije, u njima živi 55% stanovništva i ostvaruju više od 40% DP Srbije (videti N. Bogdanov, 2007).

Široko rasprostranjena poštanska mreža, kao i niske cene usluga, privlače mnoga preduzeća da se povežu sa svojim korisnicima lociranim na područjima do kojih na drugačiji način ne bi mogli da stignu. U svetu je poznata praksa tzv. solidarne proizvodnja i potrošnja koja podrazumeva npr. da stanari jedne zgrade dogovore s nekoliko farmera da sve što im treba za njih proizvede i dostavljaju po određenoj dinamici. Poštanska uprava Belgije Bpost je pokrenula sajt www.combo.be koji predstavlja platformu preko koje stanovnici određenih područja mogu onlajn poručiti namirnice od prodavaca/proizvođača, koje će im biti dostavljene na kućnu adresu. SingPost koji je u 2016. godini proglašen za najboljeg poštanskog provajdera, lansirao je veb platformu koja treba da pomogne malim preduzećima da započnu ili prošire online prodaju. Cloud bazirana platforma ezyCommerce pokriva sve aspekte e-trgovine.

Za ovakva preduzeća ništa manje bitne nisu ni mogućnosti nabavke zaliha, skladištenja, pakovanja, transporta, naplate, izrade carinske dokumentacije ili, pak, oglašavanja posredstvom pošte. Ovo nisu primeri klasičnih socijalnih davanja, ali, pomaganjem razvoja tih preduzeća, njihovim održavanjem, istovremeno i pomaže u poboljšanju životnih uslova pojedinaca, razvoju lokalne ekonomije i celog okruženja.

Osim što se ovako promoviše poslovanje u seoskim i ruralnim područjima, istovremeno se preduzećima daje mogućnost da se lociraju u oblastima gde su zakup i troškovi poslovanja znatno niži. Podaci o lokaciji ovakvih preduzeća, kao i podaci o lokaciji preduzeća koja uglavnom svoju robu prodaju posredstvom kataloga ili digitalnog oglašavanja su veoma bitni za operatora koji nudi poštanske usluge.

Jedno od osnovnih svojstava usluge koje je bitno za mala i srednja preduzeća je fleksibilnost. Fleksibilnost se odnosi na sposobnost brzog prilagođavanja promenama, odnosno na mogućnost menjanja ili dopunjavanja usluge u cilju zadovoljenja funkcionalnih i dodatnih potreba korisnika. Može se opisati brzinom odziva i reakcije na novonastale zahteve postojećih ili novih korisnika (npr. prenos kabaste robe), brzinom odziva i reakcije na izmenjene zahteve (npr. dostaviti robu na drugu adresu), stepenom usklađenosti prilagođenih usluga novim zahtevima, brzinom otklanjanja nastalih problema i sl.

$F_1 = f$(vreme pojavljivanja nove vrste zahteva, vreme realizacije zahteva)

$F_2 = f$(vreme pojavljivanja izmenjenog zahteva, vreme realizacije zahteva)

$F_3 = f$(prilagođena usluga, novi zahtevi)

$F_4 = f$(vreme pojave problema, vreme otklanjanja problema)

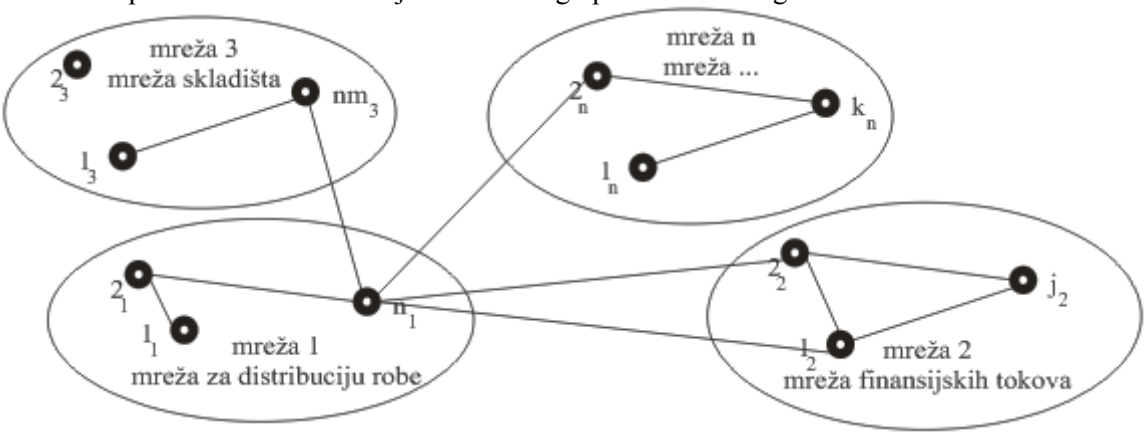
.....

6. PRIMENA TEORIJE MULTIPLEKSA U POŠTANSKOM SAOBRAĆAJU

Na osnovu obima kao i asortimana usluga pruženih u nekoj JPM, slika o posmatranom području može biti prilično jasnija. Usluge precizno odražavaju ponašanje fizičkih lica, ali i ekonomske aktivnosti na lokalnom nivou. Kako izvršenje samo jedne usluge može izazvati više različitih interakcija na različitim nivoima, principi teorije multipleksa se u ovoj oblasti mogu veoma lepo iskoristiti.

Prihvatanjem usluge izvoza robe mala i srednja preduzeća se istovremeno uključuju u funkcionisanje više različitih mreža: mreže za distribuciju robe, mreže koja obezbeđuje finansijske tokove, mreže koja je zadužena za direktni marketing fizičkim ili elektronskim putem, mreže zajedničkih skladišta... Ovakva višestruka interakcija između istih lica biva sve jača, odnosno lica bivaju sve jače povezana što se povezuju preko više različitih mreža.

Veze između parova čvorova u nekoj mreži se mogu posmatrati kao grane tih čvorova.



Slika 4: Multipleks mreža u poštanskom saobraćaju

Očito je da se pojavljuje više kvalitativno i kvantitativno različitih tokova koji se realizuju kroz različite mreže. Pošto je u pitanju više tokova i više različitih mreža dolazimo do činjenice da se na ovaj način formira multipleks mreža sa nekoliko različitih slojeva gde svaki sloj nosi određeni set podataka.

U distribuciji robe učestvuje jedan provajder preko više različitih JPM ili više provajdera sa jednom ili više JPM opremljenih različitim transportnim i drugim sredstvima rada. Za finansijske tokove je zaduženo više različitih finansijskih organizacija. Istovremeno u okviru jedne mreže, jedno lice, ostvaruje veze sa više različitih lica što posredno može dovesti do uspostavljanja veza i između njih. Zbog ostvarivanja veze između dva lica uključeno je više različitih mreža i više različitih skupova susednih čvorova.

Multipleks mreža u ovom slučaju se može objasniti kao postojanje više veza između više lica, ali i kao mogućnost postojanja drugačijeg skupa susednih čvorova u svakom sloju.

Ako se korisnici sa područja dve JPM, sa područja dva grada ili nekih većih teritorija, pojavljuju u istoj zajednici preko više slojeva mreže, može se smatrati da postoji veći stepen povezanosti i veća socio-ekonomska sličnost, što nije odmah vidljivo ako se mreže posmatraju odvojeno.

7. ZAKLJUČAK

Od 2010. godine poštanske aktivnosti su u porastu što se prvenstveno objašnjava rastom elektronske trgovine. To je ujedno još jedan pokazatelj da su poštanski tokovi odraz socio-ekonomskih aktivnosti na nekom području. Ipak, za bilo kakvo ozbiljnije zaključivanje potrebno je posmatrati broj pošiljaka koji se šalje i prima tokom nekog dužeg perioda.

Pravovremeni statistički podaci o ključnim pokazateljima socio-ekonomskog statusa su od suštinskog značaja za pružanje usluga na područjima koje nastanjuju grupe marginalizovane po bilo kojoj osnovi.

Ako zanemarimo privatne provajdere orijentisane na komercijalni servis bez obaveze pokrivanja cele teritorije, posmatranje se ograničava na JPO. Ovaj provajder univerzalnog i komercijalnog servisa deli područje, a samim tim i populaciju, po nekim teritorijama. U skladu sa tim, on direktno ili indirektno snosi odgovornost i za planiranje i raspodelu sredstava za dalji razvoj. Redovno i pouzdano prikupljanje podataka o broju pošiljaka i izvršenih usluga kao i isključivo oslanjanje na te podatke neće dati pravu sliku socio-ekonomskog uticaja razvoja poštanske mreže na određenom području, ali preklapanjem s podacima vezanim za druge mreže predstavlja odličnu osnova za sagledavanje ove problematike.

LITERATURA

[1] Urban Institute (2010): A Framework for Considering the Social Value of Postal Services. Final Report for the Postal Regulatory Commission, Washington, DC, February 2, 2010.

[2] RZSS (2016) Upotreba informaciono-komunikacionih tehnologija u Republici Srbiji, dostupno na http://pod2.stat.gov.rs/ObjavljenePublikacije/G2016/pdf/G20166004.pdf

[3] Pindus, N., Brash, R., Franks, K., Morley, E., (2010). A Framework for Considering the Social Value of Postal Services, Final Report, The Urban Institute, Washington.

[4] Istraživački projekat Položaj starijih na selu (2016), Crveni krst Srbije u saradnji sa Poverenicom za zaštitu ravnopravnosti, Brankica Janković, Gradimir Zajić, Milutin Vračević i Nataša Todorović

[5] Bogdanov, N. (2007) Mala ruralna domaćinstva u Srbiji i ruralna nepoljoprivredna ekonomija, Beograd, UNDP dostupno na: www.undp.org.rs

2017

MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

LEAST SQUARES SOLUTIONS OF MATRIX EQUATIONS AND THEIR APPLICATIONS

MARKO D. PETKOVIĆ [1], PREDRAG S. STANIMIROVIĆ [2]
[1]University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia, dexterofnis@gmail.com
[2]University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia, pecko@pmf.ni.ac.rs

Abstract: *We are concerned with the least squares solutions to the general matrix equation $AV(t)B=D$ by means of gradient based neural network (GNN) model. Convergence properties of defined GNN models are investigated. Also, applications of solutions to several particular appearances of this matrix equation are considered.*

Keywords: *Recurrent neural network; generalized inverse; Dynamic equation; Activation function.*

1. INTRODUCTION

Zhang neural networks (ZNN) as well as gradient neural networks (GNN) have been simulated for finding a real-time solution of linear equation $AV(t)B=D$, where A,B,C are given matrices and $V(t)$ is unknown time-varying matrix. We refer to references [2,14] for further details. We apply the GNN model for finding solutions of general matrix equation and investigate the convergence of defined models. Further, applications of solutions to some particular appearances of $AV(t)B=D$ are considered.

Recently, a number of nonlinear and linear recurrent neural network models have been developed for the purpose of numerical evaluation of the matrix inverse and generalized inverse of full-row or full-column rank rectangular matrices (for more details, see [3,4,9,10]). Various recurrent neural networks for computing generalized inverses of rank-deficient matrices were designed in [11,12]. The GNN models for computing the Drazin inverse A^D was proposed in [7,8]. A feedforward neural network architecture for computing the Drazin inverse A^{D} was proposed in [1]. The GNN models for computing outer inverses were introduced in [15].

The main contributions of the paper continue the results derived in [2,14] and can be emphasized as follows.
(1) Investigate convergence properties of GNN models for solving the general matrix equation $AV(t)B=D$ and show that the limit of the convergence depends on chosen initial state.
(2) Study several particular appearances of this matrix equation and applications of their solutions.
(3) Investigate the influence of various nonlinear activations on considered GNN models.

2. GNN MODEL FOR SOLVING THE MATRIX EQUATION *AV*(t)*B*=*D*

Denote by $E(t)=D-AV(t)B$ the matrix-valued error function corresponding to the matrix equation $AV(t)B=D$. The induced scalar-valued norm-based error function is given by

$$\varepsilon(t)=\varepsilon(V(t))=\frac{1}{2}\|E(t)\|_F^2, \quad \|E(t)\|_F=\sqrt{\mathrm{Tr}(E^TE)}.$$

The GNN model for solving $AV(t)B=D$ is also a kind of gradient descent optimization methods and assumes that the time derivative $\dot{V}(t)$ is proportional to the negative gradient of the objective function given as the matrix norm $\|D-AV(t)B\|_F^2$:

$$\frac{\partial\varepsilon(V(t))}{\partial V}=-A^T(D-AV(t)B)B^T=-A^TE(t)B^T.$$

Introducing the positive scaling constant γ and the nonlinear activation function array $F(\cdot)$, we obtain the following GNN model, called GNNABD:

$$\frac{dV(t)}{dt}=\dot{V}(t)=\gamma A^TF(D-AV(t)B)B^T. \tag{2.1}$$

Here, $V(t)$ is a matrix of activation state variables, $t\in[0,+\infty)$ and γ is a positive scaling constant. Further,

$F(C)$ is an odd and monotonically increasing function element-wise applicable to elements of a real matrix $C=(c_{kj})\in R^{n\times m}$, i.e. $F(C)=(f(c_{kj}))$, wherein $f(\cdot)$ is an odd and monotonically increasing function. Any monotonically increasing odd activation function $f(\cdot)$ can be used for the construction of the neural network (cf. [13]). Also, the scaling parameter γ could be chosen as large as possible in order to accelerate the convergence. The convergence could be proved only for the situation with constant coefficient matrices A, B, C.

The generalized nonlinearly activated GNN model (GGNN model) is applicable in both time-varying and time-invariant case and possesses the form

$$\dot{V}(t)=-\gamma A(t)^T F\left(D(t)-A(t)V(t)B(t)\right)B(t)^T. \tag{2.2}$$

The matrix-valued activation function $F(E)$, $E=(e_{ij})$, is defined as $\left(f(e_{ij})\right)$, $i,j=1,2,\ldots,n$, where $f(\cdot)$ is a scalar-valued monotonically-increasing odd function.

Theorem 1. Assume that real matrices $A\in R^{m\times n}$, $B\in R^{p\times q}$ and $D\in R^{m\times q}$ satisfy

$$AA^{(1)}DB^{(1)}B=D, \tag{2.3}$$

for some inner inverses $A^{(1)}$ and $B^{(1)}$. If an odd and monotonically increasing function $f(\cdot)$ is used to define the array activation function $F(\cdot)$, then the state matrix $V(t)\in R^{n\times m}$ of the GNN model (1) satisfies $AV(t)B\to D$ when $t\to+\infty$, for an arbitrary initial state matrix $V(0)$.

Theorem 2. Assume that the real matrices $A\in R^{m\times n}$, $B\in R^{p\times q}$ and $D\in R^{m\times q}$ satisfy

$$AA^{\dagger}DB^{\dagger}B=D. \tag{2.4}$$

Then $V(t)$ is convergent when $t\to+\infty$ and has the limit value

$$\tilde{V}=A^{\dagger}DB^{\dagger}+V(0)-A^{\dagger}AV(0)BB^{\dagger} \tag{2.5}$$

for every initial matrix $V(0)\in R^{n\times s}$.

Remark 1. According to [5,6], it is known that

$$\|AXB-D\|_2\geq|AA^{+}DB^{+}B-D\|_2,$$

where the equality is valid if and only if

$$X=A^{\dagger}DB^{\dagger}+Y-A^{\dagger}AYBB^{\dagger},$$

wherein Y is arbitrary matrix of appropriate dimensions. Also, $A^{\dagger}DB^{\dagger}$ is the unique minimizer of the minimal norm between least squares minimizers:

$$\|A^{+}DB^{+}\|_2\leq|A^{+}DB^{+}+Y-A^{+}AYB^{+}B\|_2 .$$

Solution (5) to the GNN model (1) coincides with the general solution

$$A^{(1)}DB^{(1)}+Y-A^{(1)}AYBB^{(1)}$$

to the matrix equation $AXB=D$, wherein Y is an arbitrary matrix. Also, two specificities can be mentioned:
- the arbitrary matrix Y is replaced by the initial state $V(0)$;
- In general, the solutions (5) are the least squares solutions of $AXB=D$. The approach which assumes the zero initial condition $V(0)=0$ produces the Moore-Penrose solution $A^{\dagger}DB^{\dagger}$ of the matrix equation $AXB=D$, i.e. the least squares solution of the minimal norm.

3. SOLVING PARTICULAR MATRIX EQUATIONS

Here we investigate several important cases and applications.

(a) Solution to the Penrose equation (1) in the time-varying case $AV(t)A=A$ corresponds to the choice $B=D=A$. Simple notation $\tilde{V}_{V(0)}$ means the limit value $\tilde{V}=\lim_{t\to\infty}V(t)$ corresponding to $V(0)$.

Corollary 1. For an arbitrary real matrix $A\in R^{m\times n}$, the matrix of activation state variables $V(t)$ is convergent when $t\to+\infty$ and its limit value is

$$\tilde{V}_{V(0)}=A^{\dagger}+V(0)-A^{\dagger}AV(0)AA^{\dagger}, \tag{3.1}$$

for arbitrary initial matrix $V(0)\in R^{n\times m}$.

Corollary 2. If $A\in R^{m\times n}$ is an arbitrary real matrix, an odd and monotonically increasing function $f(\cdot)$ is

used to define the array activation function $F(\cdot)$ and the design parameter γ satisfies $\gamma > 0$, then the limiting values of activation state matrix $V(t)$ generate the set of inner inverses:

$$\left\{\tilde{V}_{V(0)} \,|\, V(0) \in R^{n\times m}\right\} = A\{1\}. \tag{3.2}$$

(b) When $B = D = I$, $m = n$ and A is an invertible matrix, the linear recurrent GNN model for nonsingular matrix inversion and the Moore-Penrose inverse of a full-column rectangular matrix $A \in R_n^{m\times n}$ or a full-row rectangular matrix $A \in R_m^{m\times n}$ was defined in [9] as follows:

$$\dot{V}(t) = \frac{dV(t)}{dt} = \begin{cases} -\gamma A^T\left(AV(t) - I\right), & m \le n \\ -\gamma\left(V(t)A + I\right)A^T, & m > n \end{cases}, V(0) = V_0. \tag{3.3}$$

Here, γ is a large scaling parameter. Wang in [11] showed that the model (8) can be used for computing the Moore–Penrose inverse of rank-deficient matrices under the zero initial condition $V(0) = 0$.

(c) Solutions of the GNNABD model can be used in computation of outer generalized inverses with prescribed range and null space.

Theorem 1. Assume that $A \in R^{m\times n}$ and $B \in R^{n\times k}$ satisfy $B(AB)^{\dagger}AB = B.$ If an odd and monotonically increasing function $f(\cdot)$ is used to define the array activation function $F(\cdot)$, then the state matrix $V(t) \in R^{k\times m}$ of the GNNABD model

$$\dot{V}(t) = B^T F\left(B - BV(t)AB\right)(AB)^T \tag{3.4}$$

satisfies $BV(t)AB \to B$ when $t \to +\infty$, for an arbitrary initial state matrix $V(0)$. In addition, $V(t)$ is convergent when $t \to +\infty$ and has the limit value

$$\tilde{V}_{V(0)} = B^{\dagger}B(AB)^{\dagger} + V(0) - B^{\dagger}BV(0)AB(AB)^{\dagger}$$

for every initial matrix $V(0) \in R^{k\times m}$.

Further, if the condition $rank(AB) = rank(B)$ is satisfied, then $X := B\tilde{V} \in A\{2\}_{R(B),*}$.

Theorem 2. Assume that $A \in R^{m\times n}$ and $C \in R^{l\times m}$ satisfy $CA(CA)^{\dagger}C = C.$ If an odd and monotonically increasing function $f(\cdot)$ is used to define the array activation function $F(\cdot)$, then the state matrix $V(t) \in R^{n\times l}$ of the GNNABD model

$$\dot{V}(t) = (CA)^T F\left(C - CAV(t)C\right)C^T, \tag{3.5}$$

satisfies $BV(t)AB \to B$ when $t \to +\infty$, for an arbitrary initial state matrix $V(0)$. $V(t)$ is convergent when $t \to +\infty$ and has the limit value

$$\tilde{V}_{V(0)} = (CA)^{\dagger}CC^{\dagger} + V(0) - (CA)^{\dagger}CAV(0)CC^{\dagger}$$

for every initial matrix $V(0) \in R^{n\times l}$.

Further, if the condition $rank(CA) = rank(C)$ is satisfied, then $X := \tilde{V}C \in A\{2\}_{*,N(C)}$.

Theorem 3. Assume that $A \in R^{m\times n}, B \in R^{n\times k}$ and $C \in R^{l\times m}$ satisfy $B(CAB)^{\dagger}CAB = B.$ If an odd and monotonically increasing function $f(\cdot)$ is used to define the array activation function $F(\cdot)$, then the state matrix $V(t) \in R^{n\times s}$ of the GNNABD model

$$\dot{V}(t) = B^T F(B - BV(t)CAB)(CAB)^T \tag{3.6}$$

satisfies $BV(t)CAB \to B$ when $t \to +\infty$, for an arbitrary initial state matrix $V(0)$. The matrix $V(t)$ is convergent when $t \to +\infty$ and has the limit value

$$\tilde{V} = B^{\dagger}B(CAB)^{\dagger} + V(0) - B^{\dagger}BV(0)CAB(CAB)^{\dagger},$$

for every initial matrix $V(0) \in R^{k\times l}$.

Further, if the condition $rank(CAB) = rank(B) = rank(C)$ is satisfied, then $X := B\tilde{V}C \in A\{2\}_{R(B),N(C)}$.

(d) The GNN models defined on the matrix equations $GAV(t) = G$, where $A \in C_r^{m\times n}$ is given and $G \in C_s^{n\times m}, 0 < s \le r$, is appropriately chosen, are applicable in generating outer inverses with prescribed range and null space. The GNNABD model in this case gives

$$\begin{cases} \dfrac{dV(t)}{dt} = -\gamma (GA)^T \left(GAV(t) - G\right), V(0) = 0, if m \geq n, \\ \dfrac{dV(t)}{dt} = -\gamma \left(V(t)AG - G\right)(AG)^T, V(0) = 0, if m < n. \end{cases} \tag{3.7}$$

The authors of [15] omitted the constant term $(GA)^T$, and considered two dual linear GNN models, defined as follows:

$$\begin{cases} \dfrac{dV(t)}{dt} = -\gamma \left(GAV(t) - G\right), V(0) = 0, if m \geq n, \\ \dfrac{dV(t)}{dt} = -\gamma \left(V(t)AG - G\right), V(0) = 0, if m < n. \end{cases} \tag{3.8}$$

The application of the dynamic equation (3.5) is conditioned by the properties of the spectrum of the matrix GA or AG:

$$\begin{cases} \sigma(GA) \subset \{z : \mathrm{Re}(z) \geq 0\}, m \geq n, \\ \sigma(AG) \subset \{z : \mathrm{Re}(z) \geq 0\}, m < n. \end{cases} \tag{3.9}$$

More precisely, the first GNN approach used in [15] fails in the case when $\mathrm{Re}(\sigma(GA))$ contains negative values. Clearly, the model (3.8) is simpler than the model (3.4), but it loses global stability. An approach to resolve the requirement (3.9) and recover global stability was proposed in [15], and it is based on the replacement of G by $G_0 = G(GAG)^T G$ in (13). But, this approach requires additional matrix multiplications during the computation of the matrix G_0 in (3.8) instead of the matrix G.

(e) The GNN model for computing the Drazin inverse A^D was proposed in [7], as follows

$$\frac{dV(t)}{dt} = -\gamma \left(A^{m+1}V(t) - A^m\right), m \geq ind(A), V(0) = 0, \tag{3.10}$$

where γ is a positive real constant. The model (3.10) is a particular appearance of the model (13) in the case $G = A^k$, $k = ind(A)$. Accordingly, an application of the model (3.10) is conditioned by

$$Re\left(\lambda_j^{m+1}\right) \geq 0, \; j = 1, \ldots, n, \tag{3.11}$$

where $\sigma(A) = \{\lambda_1, \ldots, \lambda_n\}$ is the spectrum of A, and $m \geq ind(A)$ [7]. One method to resolve the limitation (3.11) is proposed in [7], and it is based on the possibility to find an appropriate power *k* such that (3.11) holds. Another possibility to ensure (3.11) is proposed in [15], and it is based on the usage of the matrix $A^k\left(A^{2k+1}\right)^{\mathrm{T}} A^k$, $k = ind(A)$.

4. NUMERICAL EXAMPLES

Simulink implementation of the GNNABD model is presented in Figure 1.

Example 1. Consider the following matrices

$$A = \begin{bmatrix} -8 & 8 & -4 \\ 11 & 4 & -7 \\ 1 & -4 & 3 \\ 0 & 12 & -10 \\ 6 & 12 & -12 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 12 & -4 & -16 \\ -35 & -10 & 45 \\ 2 & -5 & -3 \\ 14 & 17 & -17 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} -84 & 2524 & 304 \\ -2252 & -623 & 2897 \\ 484 & -885 & -701 \\ -1894 & 2278 & 2652 \\ -2778 & 1524 & 3750 \end{bmatrix}.$$

All three matrices have rank $r = 2$ and satisfy the condition $AA^{\dagger}DB^{\dagger}B = D$. We use the GNNABD model (1) to compute the minimum norm least squares solution $X = A^{\dagger}DB^{\dagger}$ of the matrix equation $AXB = D$. The parameters of the model are $\gamma = 10$ and $V(0) = 0$. Using the linear activation function $f(x) = x$, we obtain the solution up to the accuracy 10^{-12} in time $t_{tot} = 2 \cdot 10^{-3}$. Elementwise trajectories of $V(t)$ are shown on the Figure 2 (left). It is evident that they possess a usual convergence behavior. Figure 2 (right) shows the error norm $\| D - AV(t)B \|_F$ when both linear and non–linear activation functions are used. It can be concluded that non–linear activation functions accelerate convergence.

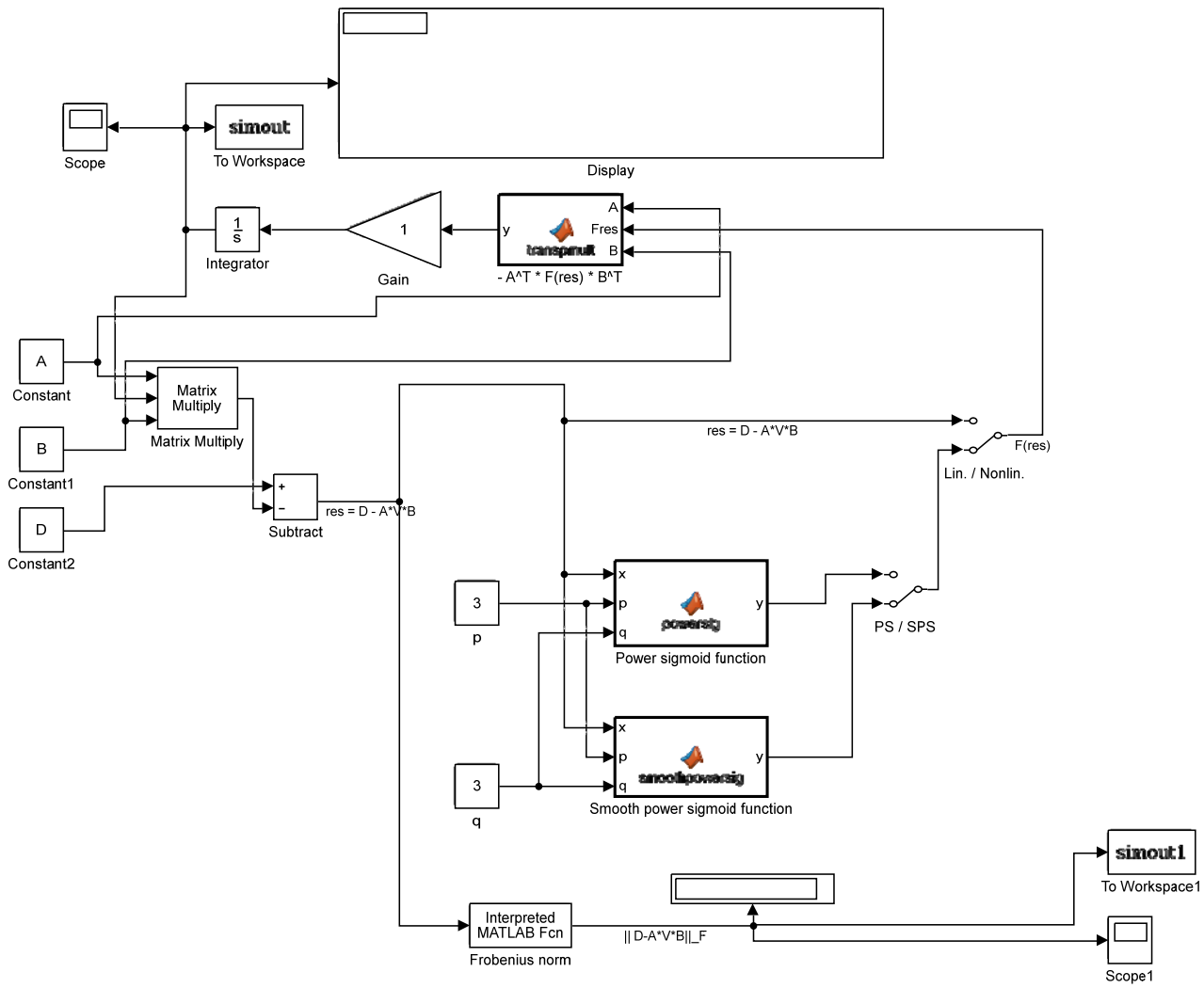


Figure 1. Simulink implementation of the GNNABD model.

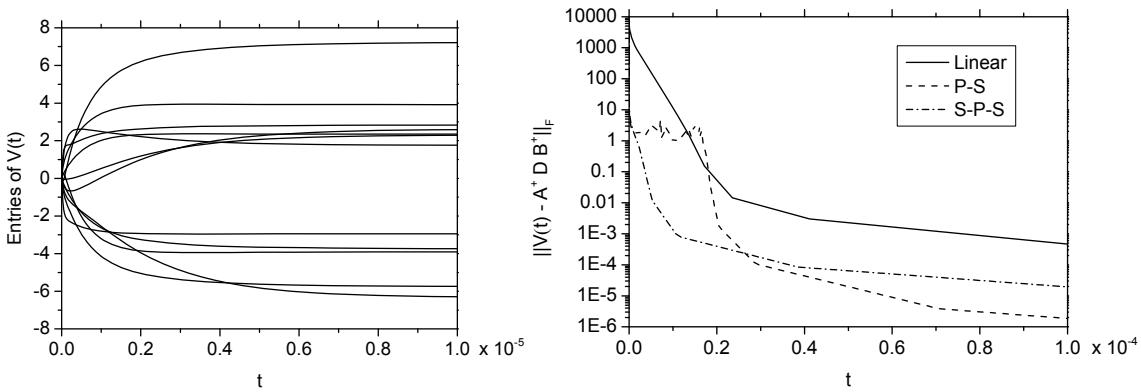


Figure 2. Elementwise convergence trajectories of the GNNABD network with linear activation function (left) and the trajectory of the error norm for different activation functions (right) in Example 1.

5. CONCLUSION

We extend the results related with the GNN model for solving the general matrix equation $AV(t)B = D$ and defined in [2,14]. Extension is achieved in both theoretical and computational directions. The convergence of defined GNN models is considered. Also it is show that the limit of the convergence depends on chosen initial state. In addition, the influence of various nonlinear activations on the GNN models is considered. Several particular linear matrix equations are observed and least squares or minimal norm least squares solutions of these equations are applied. Applications in representations of various classes of generalized inverses as well as in the image restoration are presented.

REFERENCES

[1] A. Cichocki, T. Kaczorek, and A. Stajniak, *Computation of the Drazin inverse of a singular matrix making use of neural networks*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 40 (1992).

[2] K. Chen, S. Yue, Y. Zhang, *MATLAB Simulation and Comparison of Zhang neural network and gradient neural network for online solution of linear time-varying matrix equation AXB-C*=0, D.-S. Huang et al. (Eds.): ICIC 2008, LNAI 5227, pp. 68–75, 2008, DOI: 10.1007/978-3-540-85984-0_9.

[3] J. S. Jang, S. Y. Lee, S. Y. Shin, J. S. Jang, and S. Y. Shin, *An optimization network for matrix inversion,* Neural Inf. Process. Ser. (1987), 397–401.

[4] F. L. Luo and Z. Bao, *Neural network approach to computing matrix inversion*, Appl. Math. Comput. 47 (1992), 109-120.

[5] P.J. Maher, *Some operator inequalities concerning generalized inverses*, Illinois J. Math. **34** (1990), 503-514.

[6] R. Penrose, *A generalized inverse for matrices*, Proc. Cambridge Phil. Soc. **51** (1955), 406–413.

[7] P.S. Stanimirović, I. Živković, Y. Wei, *Recurrent neural network approach based on the integral representation of the Drazin inverse*, Neural Computation (10) (2015), 2107–2131.

[8] P. S. Stanimirović, I. S. Živković, Y. Wei, *Recurrent neural network for computing the Drazin inverse*, IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. 26 (2015), 2830–2843.

[9] J. Wang, *A recurrent neural network for real-time matrix inversion*, Appl. Math. Comput. 55 (1993), 89-100.

[10] J. Wang, *Recurrent neural networks for solving linear matrix equations*, Comput. Math. Appl. 26 (1993), 23-34.

[11] J. Wang, *Recurrent neural networks for computing pseudoinverses of rank-deficient matrices*, SIAM J. Sci. Comput. 18 (1997), 1479-1493.

[12] Y. Wei, *Recurrent neural networks for computing weighted Moore-Penrose inverse*, Appl. Math. Comput. 116 (2000), 279-287.

[13] Y. Zhang, *Design and analysis of a general recurrent neural network model for time-varying matrix inversion*, IEEE Trans. Neural Netw. 16(6) (2005), 1477-1490.

[14] Y. Zhang, K. Chen, *Comparison on Zhang neural network and gradient neural network for time-varying linear matrix equation AXB=C solving*, IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008, DOI: 10.1109/ICIT.2008.4608579.

[15] I. Živković, P.S. Stanimirović, Y. Wei, *Recurrent Neural Network for Computing Outer Inverses*, Neural Computation 5 (2016), 970-998.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ACCELERATED GRADIENT DESCENT METHODS FOR NONLINEAR OPTIMIZATION

PREDRAG S. STANIMIROVIĆ [1], MARKO D. PETKOVIĆ [2]
[1]University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia, pecko@pmf.ni.ac.rs
[2]University of Niš, Faculty of Sciences and Mathematics, Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia, dexterofnis@gmail.com

Abstract: *We investigate various variants of accelerated gradient descent methods for solving nonlinear unconstrained optimization problems. Particularly, double step size and double directions algorithms are considered, the proposed methods are proven to be linearly convergent for uniformly convex functions and also, under some specific conditions, linearly convergent for strictly convex quadratic functions. Numerical testing and comparisons are performed.*

Keywords**:** *nonlinear unconstrained optimization; accelerated gradient descent methods; continuous time nonlinear optimization.*

1. INTRODUCTION

The nonlinear unconstrained optimization problem is given in the general form

$$\min f(\mathbf{x}),\ \mathbf{x} \in R^n, \tag{1.1}$$

where $f(\mathbf{x})$ is uniformly convex or strictly convex quadratic function.

In further, the following notation will be used:

$$g(\mathbf{x}) = \nabla f(\mathbf{x}),\ \ G(\mathbf{x}) = \nabla^2 f(\mathbf{x}),\ g_k = \nabla f(\mathbf{x}_k),\ \ G_k = \nabla^2 f(\mathbf{x}_k), \tag{1.2}$$

where $\nabla f(\mathbf{x})$ denotes the gradient of f and $\nabla^2 f(\mathbf{x})$ denotes the Hessian of f. The most frequently used general iterative scheme aimed to solve the multivariable unconstrained minimization problem (1.1) is of the form

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + t_k \mathbf{d}_k,$$

where $\mathbf{x}_{k+1}$ is a new iterative point, $\mathbf{x}_k$ is the previous iterative point, $t_k>0$ is the step-length parameter in the kth iteration and $\mathbf{d}_k$ is a search direction. The search direction $\mathbf{d}_k$ is generally required to satisfy the descent condition

$$\mathbf{g}_k^{\mathrm{T}} \mathbf{d}_k < 0.$$

In the gradient descent (GD) method, the search direction $\mathbf{d}_k$ is defined by $\mathbf{d}_k = -\mathbf{g}_k$. The descent direction in the Newton method with the line search is the solution $\mathbf{d}_k$ to the system of linear equations $G_k\mathbf{d} = -\mathbf{g}_k$ with respect to $\mathbf{d}$.

Accelerated gradient descent (AGD) iterative methods are based on two or more parameters which define the iterative step. An iterative methods for solving (1.1) is based on the iterative principle

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \theta_k t_k \mathbf{g}_k. \tag{1.3}$$

This specific scheme, originally introduced in [1], uses the step-length parameter t_k defined by the inexact line search procedure and an additional acceleration parameter θ_k. In [7], the authors named such a type of iterative schemes as *accelerated gradient descent* (AGD) methods. Generally, carefully selected acceleration parameter θ_k improves the behavior of gradient descent algorithms, corresponding to the choice $\theta_k = 1$.

Newton's method with the line search has the general form

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - t_k G_k^{-1} \mathbf{g}_k. \tag{1.4}$$

Quasi-Newton methods are based on the approximation of the inverse Hessian G_k^{-1} by an appropriate symmetric $n \times n$ matrix S_k which satisfies the quasi-Newton equation:

$$S_{k+1}\mathbf{y}_k = \mathbf{s}_k, \tag{1.5}$$

where $\mathbf{s}_k = \mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k$ and $\mathbf{y}_k = \mathbf{g}_{k+1} - \mathbf{g}_k$. The next iteration is defined by

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - t_k S_k \mathbf{g}_k. \tag{1.6}$$

2. AGD METHOD BASED ON A MODIFIED NEWTON METHOD

An idea of creating a method of the form (1.3) by constructing the acceleration parameter θ_k using the properties of the matrix S_k is presented in [7]. The main point is in substitution of symmetric matrix S_k with appropriate constant diagonal matrix defined by

$$S_k = \gamma_k^{-1} I, \quad \gamma_k \in R, \tag{2.1}$$

which reduces the scheme (1.6) into the accelerated gradient descent method with the line search, so called SM method (see [7]):

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - t_k \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k. \tag{2.2}$$

Taylor's approximation of the function f at the point $\boldsymbol{x}_{k+1}$, computed by means of (2.2) is given by

$$f(\mathbf{x}_{k+1}) = f(\mathbf{x}_k) - t_k \mathbf{g}_k^{\mathrm{T}} \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k + \frac{1}{2} t_k^2 \left(\gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k\right)^{\mathrm{T}} \nabla^2 f(\xi) \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k. \tag{2.3}$$

where $\xi \in [\mathbf{x}_k, \mathbf{x}_{k+1}]$ is defined by

$$\xi = \mathbf{x}_k + \alpha(\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k) = \mathbf{x}_k - \alpha t_k \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k, \quad 0 \le \alpha \le 1. \tag{2.4}$$

Having in mind that the distance between $\boldsymbol{x}_k$ and $\boldsymbol{x}_{k+1}$ is small enough (using the local character of searching) we can take α= 1 in (2:4) and get the approximation $\xi = \mathbf{x}_{k+1}$. Thus, we obtain

$$\nabla^2 f(\xi) = \gamma_{k+1} I. \tag{2.5}$$

Now, taking into account (2.3) and (2.5) Taylor's expansion gives

$$f(\mathbf{x}_{k+1}) = f(\mathbf{x}_k) - t_k \gamma_k^{-1} \| \mathbf{g}_k \|^2 + \frac{1}{2} t_k^2 \gamma_{k+1} \gamma_k^{-2} \| \mathbf{g}_k \|^2, \tag{2.6}$$

and later

$$\gamma_{k+1} = 2\gamma_k \frac{\gamma_k \left[f(\mathbf{x}_{k+1}) - f(\mathbf{x}_k) \right] + t_k \| \mathbf{g}_k \|^2}{t_k^2 \| \mathbf{g}_k \|^2}. \tag{2.7}$$

The condition $\gamma_{k+1} > 0$ is ultimate. In the case $\gamma_{k+1} < 0$ we take the usual GD step by choosing $\gamma_{k+1} = 1$.

Once the parameter $\gamma_{k+1} > 0$ is found, we need to compute the parameter t_{k+1} in order to determine the next iterative point

$$\mathbf{x}_{k+2} = \mathbf{x}_{k+1} - t_{k+1} \gamma_{k+1} \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_{k+1}.$$

The step size $t_{k+1}$was determined in [7] using the backtracking line search procedure from [1], under the assumption that the line search starts from $t = 1$.

3. ACCELERATED DOUBLE DIRECTION METHOD

An alternative iterative method was introduced in [5]. It is based on the iteration of the form

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \alpha_k \mathbf{s}_k + \alpha_k^2 \mathbf{d}_k, \tag{3.1}$$

where α_k denotes the step size, while $\mathbf{s}_k$ and $\mathbf{d}_k$ generate the search directions. The real parameter $\mathbf{s}_k$ inherits properties taken from the SM-method, (see [7]), that is

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \alpha_k \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k + \alpha_k^2 \mathbf{d}_k. \tag{3.2}$$

The vector $\mathbf{d}_k$ is defined according to [2]. Now, from Taylor's expansion

$$f(\mathbf{x}_{k+1}) \approx f(\mathbf{x}_k) + \mathbf{g}_k^T \left(\alpha_k^2 \mathbf{d}_k - \alpha_k \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k\right) + \frac{1}{2} \left(\alpha_k^2 \mathbf{d}_k - \alpha_k \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k\right)^T \nabla^2 f(\xi) \left(\alpha_k^2 d_k - \alpha_k \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k\right), \tag{3.3}$$

where $\nabla^2 f(\xi)$ is like in [7] replaced by $\gamma_{k+1} I$, where γ_{k+1} is computed by the expression

$$\gamma_{k+1} = 2 \frac{f(\mathbf{x}_{k+1}) - f(\mathbf{x}_k) - \alpha_k \mathbf{g}_k^T \left(\alpha_k \mathbf{d}_k - \gamma_k^{-1} g_k\right)}{\left(\alpha_k \mathbf{d}_k - \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k\right)^T \left(\alpha_k \mathbf{d}_k - \gamma_k^{-1} \mathbf{g}_k\right)}. \tag{3.4}$$

If in some iterative step happens that $\gamma_{k+1} < 0$ we take $\gamma_{k+1} = 1$. Then the next iterative point x_{k+2} is computed by

$$\mathbf{x}_{k+2} = \mathbf{x}_{k+1} - \alpha_{k+1} \mathbf{g}_{k+1} + \alpha_{k+1}^2 \mathbf{d}_{k+1}.$$

4. ACCELERATED DOUBLE STEP SIZE METHODS

The iteration that is suggested has the general form

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \alpha_k \mathbf{s}_k + \beta_k \mathbf{d}_k. \tag{4.1}$$

Here, $\mathbf{x}_{k+1}$ represents a new iterative point, $\mathbf{x}_k$ the previous one, positive real quantities α_k and β_k are two step sizes, while vectors $\mathbf{s}_k$ and $\mathbf{d}_k$ generate search directions.

Since the implementation of the ADD method requires additional time consuming minimization of defined subproblem needed for obtaining the direction vector $\mathbf{d}_k$ (see [5]), in [8] it was proposed to reduce two directions into a single direction defined by the gradient. More precisely, the search directions are defined as follows:

$$\mathbf{s}_k = -\gamma_k^{-1}\mathbf{g}_k, \quad \mathbf{d}_k = -\mathbf{g}_k. \tag{4.2}$$

According to analysis from [7], the condition $\gamma_k > 0$ must be fulfilled. Knowing that assumption, defining vectors $\mathbf{s}_k$ and $\mathbf{d}_k$ by the expressions (4.2) ensures descent directions for both vectors. Replacing (4.2) into (4.1) gives the expression of the $ADSS$ iteration:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \alpha_k \gamma_k^{-1}\mathbf{g}_k - \beta_k \mathbf{g}_k = \mathbf{x}_k - \left(\alpha_k \gamma_k^{-1} + \beta_k\right)\mathbf{g}_k. \tag{4.3}$$

Using Taylor's expansion of the second order one can verify

$$\gamma_{k+1} = \frac{f(\mathbf{x}_{k+1}) - f(\mathbf{x}_k) + (\alpha_k \gamma_k^{-1} + \beta_k)\,\|\mathbf{g}_k\|^2}{(\alpha_k \gamma_k^{-1} + \beta_k)^2\,\|\mathbf{g}_k\|^2}. \tag{4.4}$$

Once the parameter $\gamma_{k+1} > 0$ is found, we need to compute parameters α_{k+1} and β_{k+1} in order to determine the next iterative point

$$\mathbf{x}_{k+2} = \mathbf{x}_{k+1} - \left(\alpha_{k+1}\gamma_{k+1}^{-1} + \beta_{k+1}\right)\mathbf{g}_{k+1}.$$

In order to derive appropriate values of the parameters α_{k+1} and β_{k+1} we investigate the function

$$\Phi_{k+1}(\alpha,\beta) = f(\mathbf{x}_{k+1}) - (\alpha\gamma_{k+1}^{-1} + \beta)\,\|\mathbf{g}_{k+1}\|^2 + \frac{1}{2}(\alpha\gamma_{k+1}^{-1} + \beta)\gamma_{k+1}\,\|\mathbf{g}_{k+1}\|^2.$$

Let us note that the function $\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)$ is generated under the assumption $\gamma_{k+2} = \gamma_{k+1}$. It is clear that the function $\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)$ is convex in the case $\gamma_{k+1} > 0$.

Also, it is not difficult to compute the gradient of $\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)$:

$$\nabla\left(\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)\right) = \left\{\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)'_{\alpha}, \Phi_{k+1}(\alpha,\beta)'_{\beta}\right\},$$

where

$$(\Phi_{k+1})'_{\alpha} = f(\mathbf{x}_k) = ((\alpha-1)\gamma_{k+1}^{-1} + \beta)\,\|\mathbf{g}_{k+1}\|^2, \quad (\Phi_{k+1})'_{\beta} = \gamma_{k+1}(\Phi_{k+1})'_{\alpha} \tag{4.5}$$

Therefore,

$$\Phi_{k+1}(0,0) = f(x_{k+1}).$$

The function $\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)$ decreases in the case $(\Phi_{k+1})'_{\alpha} < 0, (\Phi_{k+1})'_{\beta} < 0$. These inequalities are satisfied when

$$\alpha \in (0,1), \quad \beta < (1-\alpha)\gamma_{k+1}^{-1}.$$

Also we have

$$\nabla\left(\Phi_{k+1}(\alpha,\beta)\right) = \{0,0\} \Longleftrightarrow \beta = (1-\alpha)\gamma_{k+1}^{-1}. \tag{4.6}$$

Since

$$\alpha_k \gamma_k^{-1} + \beta_k = \gamma_k^{-1} > 0,$$

according to (4.3), the objective function f is decreasing. The minimum of Φ_{k+1} is achieved when the conditions (4.6) are satisfied. We determine the step size α_{k+1} using the backtracking line search procedure where $\alpha_{k+1} \in (0,1)$. Similarly, the step size β_{k+1} is derived using the backtracking line search procedure where $\beta_{k+1} \in (0,1)$.

5. TRANSFORMATION OF ADSS SCHEME INTO A SINGLE STEP SIZE ITERATION

Very advanced numerical results obtained in [4] motivated further research on this topic in [8]. An idea is to investigate the properties of a single step size method developed as a reduction of the double step size $ADSS$ model. This reduction is defined by an additional assumption which represents a trade-off between two step length parameters α_k and β_k in the $ADSS$ scheme

$$\alpha_k + \beta_k = 1, \tag{5.1}$$

which leads to the iterative process

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - [\alpha_k(\gamma_k^{-1} - 1) + 1]\mathbf{g}_k. \tag{5.2}$$

The iteration (5.2) is noted as *Transformed ADSS* method, or shortly *TADSS* method. Defined *TADSS* iteration represents not only a reduction of the double step size *ADSS* model into the corresponding single step size method, but also a sort of modification of the single step size SM iteration from [7]. This modification can be explained as the substitution of the product $t_k\gamma_k^{-1}$, from the SM iteration, by the multiplying factor $\alpha_k(\gamma_k^{-1} - 1) + 1$ of the gradient from the *TADSS* iteration (5.2).

For the sake of simplicity, we use the notation $\phi_k = \alpha_k(\gamma_k^{-1} - 1) + 1$ whenever it is possible. The value of the acceleration parameter γ_{k+1} in (k+1)th iteration can be derived by using the Taylor's expansion, as follows:

$$\gamma_{k+1} = 2\frac{f(\mathbf{x}_{k+1}) - f(\mathbf{x}_k) + \Phi_k \| \mathbf{g}_k \|^2}{\Phi_k^2 \| \mathbf{g}_k \|^2}. \tag{5.3}$$

We consider now the $(k+1)$ th iteration, $\mathbf{x}_{k+2}$, which is given by

$$\mathbf{x}_{k+2} = \mathbf{x}_{k+1} - \phi_{k+1}\mathbf{g}_{k+1}.$$

Examine the function

$$\Phi_{k+1}(\alpha) = f(\mathbf{x}_{k+1} - [\alpha_k(\gamma_{k+1}^{-1} - 1) + 1]\mathbf{g}_{k+1})$$

$$f(\mathbf{x}_{k+1}) - [\alpha_k(\gamma_{k+1}^{-1} - 1) + 1] \| \mathbf{g}_{k+1} \|^2 + \frac{1}{2}[\alpha_k(\gamma_{k+1}^{-1} - 1) + 1]\gamma_{k+1} \| \mathbf{g}_{k+1} \|^2,$$

under the assumption $\gamma_{k+2} = \gamma_{k+1}$. This function is convex when $\gamma_{k+1} > 0$, and its derivative $\Phi_{k+1}(\alpha)'_\alpha$ is

$$(\Phi_{k+1})'_\alpha = \gamma_{k+1}^{-1}(1 - \gamma_{k+1})^2(\alpha - 1) \| \mathbf{g}_{k+1} \|^2 .$$

Since the inequality $\gamma_{k+1} > 0$ is achieved, it follows that

$$(\Phi_{k+1})'_\alpha < 0 \Longleftrightarrow \alpha < 1, \quad (\Phi_{k+1})'_\alpha = 0 \Longleftrightarrow \alpha = 1. \tag{5.4}$$

Therefore, the function $\Phi_{k+1}(\alpha)$ decreases in the case $(\Phi_{k+1})'_\alpha < 0$ and achieves its own minimum in the case $\alpha = 1$. According to the criteria given by (5.4), desirable values for α are within the interval $(-\infty, 1]$. Now, (5.2) is a kind of the gradient descent process in the case $\phi_k = \alpha_k(\gamma_k^{-1} - 1) + 1 > 0$. Since $\gamma_k > 0$, it is easy to verify the next condition for the step length α_k:

$$\alpha_k \le \frac{\gamma_k}{\gamma_k - 1}. \tag{5.5}$$

In view of the inequality $\frac{\gamma_k}{\gamma_k - 1} > 1$ holds in the case $\gamma_k > 1$, this fractional number is not appropriate upper bound for α_k in this case. On the other hand, the inequality $\frac{\gamma_k}{\gamma_k - 1} < 0$ holds in the case $\gamma_k < 1$, so that $\frac{\gamma_k}{\gamma_k - 1}$ is an appropriate upper bound for α_k in this case.

Further, it is verified that

$$f(\mathbf{x}_k) - f(\mathbf{x}_{k+1}) \approx \phi_k \| \mathbf{g}_k \|^2 - \frac{1}{2}\phi_k^2\gamma_{k+1} \| \mathbf{g}_k \|^2 . \tag{5.6}$$

which implies

$$f(\mathbf{x}_k) < f(\mathbf{x}_{k+1}) \Leftrightarrow \phi_k \le \frac{2}{\gamma_{k+1}}. \tag{5.7}$$

Taking into account $\gamma_k < 1$, it is not difficult to verify that the criterion (5.7) restricts desirable values for α_k

within the interval

$$\alpha_k \le \min\left\{\frac{\gamma_k}{\gamma_k - 1}, \frac{\gamma_k(2-\gamma_{k+1})}{\gamma_{k+1}(1-\gamma_k)}\right\}. \tag{5.8}$$

A comparison between the methods SM, ADD, TADSS and ADSS methods is presented in Table 1 and Table 2.

Table 1: Summary of numerical results for TADSS and ADSS tested on 22 large scale test functions.

Test function	No of iterations		CPU time		No of function evaluations	
	TADSS	ADSS	TADSS	ADSS	TADSS	ADSS
Extended Penalty	40	50	2	4	1280	1780
Raydan 1	466	34	11	4	8504	4844
Diagonal 1	20	37	0	0	335	1448
Diagonal 3	21	49	0	1	417	1048
Generalized Tridiagonal 1	61	77	0	0	431	719
Extended Tridiagonal 1	60	70	0	0	250	420
Extended Three Expon. Term	40	40	0	0	400	350
Diagonal 4	40	780	0	0	270	2590
Extended Himmelblau	60	70	0	0	300	480
Quadratic QF1	4953	425	15	0	13738	1755
Extended Quad. Penalty QP1	50	60	0	2	571	841
Extended Quad. Penalty QP2	50	60	0	4	569	843
Quadratic QF2	50	60	0	1	583	836
Extended EP1	186	40	1	0	758	487
Extended Tridiagonal 2	638	80	0	0	2052	420
Arwhead	50	64	0	3	601	1082
Engval1	60	70	0	0	290	460
Quartc	10	70	0	0	30	390
Generalized Quartic	60	70	0	0	250	614

Table 2: Number of iterations needed in developing SM and ADD.

Test function	SM	ADD
Extended penalty	589	70
Perturbed quadratic	111972	80
Raydan 1	21125	86
Diagonal 1	10417	81
Generalized tridiagonal 1	278	110
Extended tridiagonal 1	3560	120
Extended three exponential terms	164	100
Extended Himmelblau	168	100
Extended quadratic penalty QP1	224	90
Extended EP1	68	100
Extended tridiagonal 2	584	120
Engval1	185	100

6. CONTINUOUS TIME AGD METHODS

Traditional numerical algorithms are devoted to static unconstrained nonlinear optimization and assume that the objective function does not change during the computational time. On the other hand, the dynamical approach, specifically the neural dynamics originating from the neural network, has several potential advantages in real-time applications, including self-adaptation, parallel processing, distributed storage, and hardware implementation. In this case, continuous-time Zhang dynamics (CTZD) and Gradient Neural Network (GNN) models can be used in solving real-time varying nonlinear optimization (RTVNO).

It is possible to consider the AGD iterations as the discretization of the continuous-time optimization model. Indeed, let us consider the Euler forward-difference rule (as in [10]) for the continuous-time vector $\mathbf{x}(t)$

$$\dot{\mathbf{x}}(t) \approx (\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k)/\tau, \mathbf{x}_k = \mathbf{x}(\tau = t_k), k = 1, 2, \ldots$$

and the continuous-time nonlinear multi variable unconstrained minimization problem

$$\min f(\mathbf{x}(t), t), \mathbf{x}(t) \in R^n, t \in [0, +\infty), \tag{6.1}$$

where $f(\cdot,\cdot): R^n \times [0,+\infty) \to R$ denotes a nonlinear second-order differentiable function. The method for solving (6.1) is based on the ZNN design method was considered in [4]. We use the approach arising from the discretization of the GNN model. The GNN model (continuous-time adaptation rule) based on the error

function $\varepsilon = \| \partial f(\mathbf{x}) / \partial \mathbf{x} \|_2^2 / 2$ is given by

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = -\gamma \frac{\partial \varepsilon}{\partial \mathbf{x}} = -\gamma \frac{\partial f(\mathbf{x}(t), t)}{\partial \mathbf{x}(t)}. \tag{6.2}$$

The parameter t denotes the time inside the time interval and the design parameter $\gamma > 0$ is the real parameter used to scale the convergence rate of the GD model, The GNN model (6.2) is known as the GD-2 model from [3].

The discretization of (6.2) can be defined by the Euler difference rule

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \frac{\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k}{\tau},$$

where τ denotes the sampling time and $\mathbf{x}_k = \mathbf{x}(t = k\tau), k = 1,2,...$ The discretization gives the iterative rule

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \tau\gamma \mathbf{g}_k. \tag{6.3}$$

Then (6.3) becomes a kind of AGD iterative methods of the general form (2.2).

7. CONCLUSION

Opposite the traditional gradient descent (GD) algorithms, which are defined using a single step size, accelerated gradient descent (AGD) algorithms are based on two or more parameters which define the step size. Is it necessary to use more parameters to define the step size? Is it justifiable to use a product of scaling parameters, since their product gives again a number? Numerical experiments show that introduction of new scaling parameters is useful and reduces the number of iterative steps. Usually, one of the parameters is defined using the inexact line search procedure, and remaining parameters are defined according to the Taylor's expansion of the objective function.

Possible research includes several new strategies. Firstly, instead of the diagonal matrix $S_k = \gamma_k I$, it is possible to consider appropriately defined positive-definite matrix S_k. Later, it is reasonable to apply similar strategy with two parameters, where one of the parameters is defined according to the third term of Taylor's expansion.

Also, continuous-time nonlinear optimization gives new approach to accelerating parameters, which is based on the expressions involving value of the scaling parameter and limits of the selected time interval.

Finally, discretization of (6.2) based on which arise from different difference rules can produce various iterative methods for solving nonlinear unconstrained multivariate optimization problem (1.1).

REFERENCES

[1] N. Andrei, *An acceleration of gradient descent algorithm with backtracking for unconstrained optimization*, Numer. Algor. (2006), 63-73.

[2] N.I. Djuranovic-Miličić, M. Gardašević-Filipović, *A multi-step curve search algorithm in nonlinear optimization-nondifferentiable case*, Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics, (2010), 11-24.

[3] L. Jin, Y. Zhang, *Continuous and discrete Zhang dynamics for real-time varying nonlinear optimization*, Numer. Algor. 73 (2016), 115-140.

[4] M. Liu, B. Liao, L. Ding, L. Xiao, *Performance analyses of recurrent neural network models exploited for online time-varying nonlinear optimization*, Computer Science and Information Systems 13(2) (2016), 691–705.

[5] M.J. Petrović, P.S. Stanimirović, *Accelerated Double Direction method for solving unconstrained optimization problems*, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014, http://dx.doi.org/10.1155/2014/965104

[6] M.J. Petrović, *An Accelerated Double Step Size model in unconstrained optimization*, Appl. Math. Comput. (2015), 309-319.

[7] P.S. Stanimirović, M.B. Miladinović, *Accelerated gradient descent methods with line search*, Numer. Algor. (2010), 503-520.

[8] P.S. Stanimirović, G,V. Milovanović, M.J. Petrović, N. Kontrec, *Transformation of accelerated double step size method for unconstrained optimization*, Math. Probl. Eng., vol. 2015, Article ID 283679, 8 pages, 2015. doi:10.1155/2015/283679.

[9] Y. Zhang,W. Ma and B. Cai, *From Zhang neural network to Newton iteration for matrix inversion* IEEE Trans. Circuits Syst. I, 56(7) (2009), 1405-1415.

2017

MEKA I BIHEJVIORALNA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

BULLWHIP EFFECT AND COOPERATIVENESS: DOES SITUATIONAL CONDITIONS MATTER?

BILJANA PANIĆ[1], IVANA KOVAČEVIĆ[2], MIRKO VUJOŠEVIĆ [3]

[1] Faculty of Organizational Sciences, panic.biljana@fon.bg.ac.rs
[2] Faculty of Organizational Sciences, kovacevic.ivana@fon.bg.ac.rs
[3] Faculty of Organizational Sciences, vujosevic.mirko@fon.bg.ac.rs

Abstract: *One of causes of bullwhip effect in supply chains is lack of cooperability as a personality trait. In this paper, the experiment conducted on students simulating beergame will be presented. The results of the experiment showed that the cooperativeness of participants in supply chain could be, at least partially, susceptible to situational conditions due to the fact that it is possible to change them. Participant cooperativeness is determined using a Social Value Orientation questionnaire, applied to classify them into cooperative and uncooperative ones. It was found that allowing cooperativeness during the beergame simulation leads to more cooperativeness and on the other hand, lack of opportunity to cooperate in beergame situation leads to less cooperativeness.*

Keywords: *Supply Chain, Social Value Orientation, Beergame, Cooperativeness.*

1. INTRODUCTION

Lack of information and coordination in the supply chains can cause the bullwhip effect, which implies a distortion of information within the supply chain because different stages in the supply chain have different demand forecasts, so that demand increasingly varies from retailer to manufacturer. Bullwhip effect was first identified by Forrester (1958). Later, the causes of the bullwhip effect were defined as "players' systematic irrational behavior" or as a "misperception of feedback" (Sterman, 1989). Croson et al. (2004) have classified the causes of the bullwhip effect as operational and behavioral. Detailed review of those causes is given in paperworks of Panić et al. (2014) and Panić (2015). Behavioral causes are: coordination risk, distrust, cognitive limitations, underweight the supply line, and personality characteristic. Personality characteristic which causes bullwhip effect are risk taking, ambiguity, self-efficiency, locus of control and cooperability.

Majority of researches proved that collaboration improves performance in the supply chain (Anthony, 2000; Chopra and Meindl, 2001; Nix et al., 2004; Van de Vijver, 2009; Hudnurkar, Jakhar, and Rathod, 2014). As different authors differently define collaboration within this context, we specify collaboration as cooperative strategy of supply chain partners. Nyaga, Whipple, and Lynch (2010) in their endeavors to find factors that promote collaboration, emphasized trust, dependence, long term relationship, information and resource sharing. In one study (Panić, 2015) it is found that the more cooperative participants in supply chain achieve cost reduction. Also, it was shown that it was possible to organize supply chain consisting of more cooperative participants.

The main goal of this study is to prove that it is possible to change cooperability of the participants in the supply chain. In the second section will be explained Social Value Orientation questionnaire (Murphy and Ackermann, 2012), used for classifying participants to cooperative or uncooperative. In the third section will be described beergame, in the fourth will be described experiment and results and in the fifth will be given concluding remarques.

2. SOCIAL VALUE ORIENTATION

Social value orientation (SVO) comes from the domain of the decision-making theory and economics. It studies individual orientation towards social values, explaining how much people care about others in their decisions. The main purpose of SVO is to determine the readiness of the decision-maker to sacrifice their interests for the benefit of others (Murphy and Ackermann, 2012).

Although traditional economy is based on the premise that the decision-maker is a rational being (homo economicus), there is a great deal of examples that contradict this idea that the decision-maker tends to maximize their score expressing indifference toward the results of other participants. Decision-makers have different human qualities, varying from egoism to altruism and caring. When making decisions in a social context, people are often encouraged to take into consideration the impact of their decisions on the other members of the society.

The SVO questionnaire is often used to assess the individual aspect of cooperativeness, (Zeelenberg et al. 2008). The problem of selecting one out of the two warranted money distributions shown in Table 1 is a typical example of measuring SVO. In both cases, the decision-maker gains a certain sum, but the other person, who is unknown and is going to stay unknown to him, also gains a sum of money dependent on his decision. This is not strategic decision-making as it is in the game theory, because the decision-maker is the only one who has control over the payment. The decision is a one-shot and anonymity protects it from the influence of pressure, reciprocity, reputation issues, etc.

Table 1: Money distribution options (Murphy and Ackermann, 2012)

option A	option B
85 $ to decision maker	100 $ to decision maker
85 $ to another person	50 $ to another person

A rationally driven decision-maker would choose option B because it brings him a 15$ higher payoff, although in this case the other person gains 35$ less. Nevertheless, it is confirmed experimentally that option A is preferred in 40% of the cases (Murphy and Ackermann, 2012). This kind of behaviour is called social preference, social motives or social value orientation. The existence of positive social value orientation shows that his own benefit may not be the only criterion for the decision-maker.

Table 2: Social orientations

Self	Other	Orientation	Inferred Motivation	Weight on own outcome	Weight on other's
85	85	Prosocial	Maximize the joint payoff or minimize the difference between payoffs	1	1
100	50	Individualistic	Maximize the payoff to self	1	0
85	15	Competitive	Maximize the positive difference between self and the other's payoff	1	-1
50	0	Sadistic	Minimize the other's payoff	0	-1
15	15	Sadomasochistic	Minimize the joint payoff or minimize the difference between payoffs	-1	-1
0	50	Masochistic	Minimize the payoff to self	-1	0
15	85	Martyr	Maximize the negative difference between the other's and self payoff	-1	-1
50	100	Altruistic	Maximize the other's payoff	0	1

Table 2 shows different possible orientations and motivation of the decision-makers. It is a taxonomy given by Liebrand, which consists of several non-typical orientations that are very rarely present in practice (Liebrand, 1984, according to Murphy and Ackermann, 2012). The majority of decision-makers tend to maximize payoff for themselves (individualists), to maximize the total payoff (prosocial), or at least to maximize discrepancy between payoff for themselves and others (competitive). Sometimes, decision-makers tend to maximize payoff of others (altruists) and that is the reason for applying a subgroup of those orientations (Murphy, Ackermann, and Handgraaf, 2011; Murphy and Ackermann, 2012).

There are different ways to measure social orientation (Murphy and Ackermann, 2012). One approach is to use The Ring Measure, as in this study. This method uses a series of pairs of payoff and estimates the SVO score based on the choices made. It is followed by calculating the angle (degrees), as explained in the work of Murphy and colleagues (Murphy et al. 2011; Murphy and Ackermann, 2012), that determines the SVO orientation of the decision-maker. For example, if the angle were 45 degrees, the person is of prosocial orientation, as shown in Figure 1.

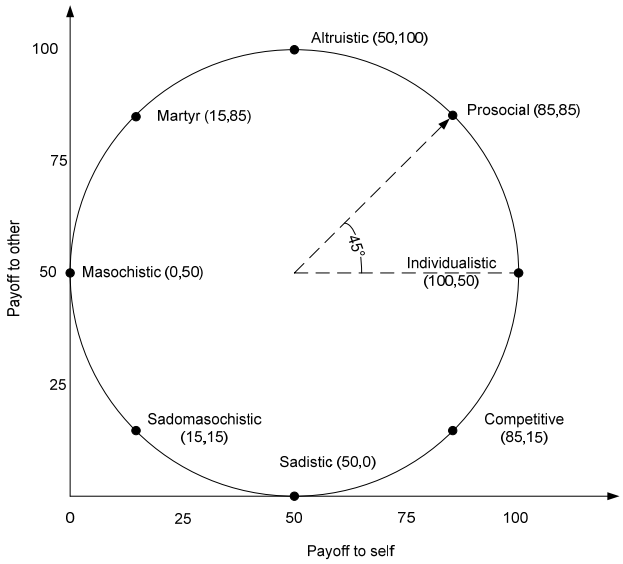


Figure 1: The example of assessing social orientation by The Ring Measure (adapted from Murphy and Ackermann, 2012)

3. BEERGAME

Beer game was created as a part of the research of industrial dynamics in early sixties, by Sloan School of Management in Massachusetts Institute of Technology, to simulate performance of supply chain with one participant in each phase (Sterman, 1992).

Game is built up on the table representing beer manufacturing and distribution. Teams are formed to play game with the objective to minimize the expenses of whole supply chain. The winner is the team that finishes the game with minimal costs. Teams are divided into four sections: Retailer, Wholesaler, Distributor and Factory. Retailer comes to the wholesaler to buy beer. Wholesaler strives to satisfy the retailer's demands from his supplies. Every unsatisfied order remains for subsequent period of time as backlog. Retailer asks from Wholesaler who orders from distributor, who refers to Manufacturer. Two weeks (iterations of simulation) are required for delivery. Game starts from the state that every participant has 12 cases of beer on stock, and initial demand is 4 cases in every phase. In first few weeks, participants learn about mechanisms of fill in the purchase order, creating backlogs and so on, and during that period of time demand is constant – 4 cases weekly. In first three weeks, participants can order only 4 cases per week, which is logical due to the fact that the demand is also 4 cases. At the beginning of the fourth week, participant can obtain unlimited amount of supplies, though it is pointed out that the demand of buyer could vary. One of his tasks is to anticipate the demand and to purchase accordingly. The total duration of the game is 50 weeks of simulation, but the desired effects are evident much earlier.

Two groups (UN, CN) played according to the traditional beer game rule that each participant possesses only local information. Two other groups (UI, CI) were allowed to exchange whatever information they want. Game duration was 23 simulated weeks.

4. THE EXPERIMENTAL PROCEDURE

We simulated functioning of supply chain by playing partly modified beer game. Participants in the supply chain were 21 students of 3th year of Faculty of Organizational Sciences, voluntarily apply to take part in experiment. Firstly, they filled Social Value Orientation (SVO) questionnaire and they were classified into cooperative or uncooperative subsample. Then, both groups were randomly divided into two subgroups, subjected to two situational conditions. Consequently, we got four subsamples consisted from two categories of participants, according to their individual proclivity toward cooperation, submitted to two game rules, considering the interactional (communicational) circumstances. Those groups were:

- Cooperative with information exchange not allowed (CN) – 5 participants
- Uncooperative with information exchange not allowed (UN) – 4 participants
- Cooperative with information exchange allowed (CI) – 5 five participants
- Uncooperative with information exchange allowed (UI) – 7 participants

Each group represented one team who simulate one supply chain according to the established rules. Due to the fact that sample were students, game was renamed into a water supply game.

There was an idea that the participants would be more ready to cooperate after the beergame simulation. In order to verify the hypothesis of possiblity to influence on behavioral change of participants in supply chain, we tested participants before and after the experience of game simulation, by SVO questionnaire.

4.1. Results Of Experiment

Although there was an idea that the participants would be more ready to cooperate after the beergame simulation, results indicate that different groups have different results. Each participant could gain total score between -112.5 and 112.5 degrees on questionnaire. In the Tables 3, 4, 5 and 6 were given results of SVO questionnaire for CN, UN, CI and UI groups respectively.

Table 3: Results of SVO questionnaire for cooperative group with information exchange not allowed

CN	Before		After	
	Degree	SVO	Degree	SVO
1	45.00	Prosocial	35.97	Prosocial
2	5.33	Individualistic	7.40	Individualistic
3	21.68	Individualistic	39.13	Prosocial
4	45.00	Prosocial	22.25	Individualistic
5	82.23	Altruist	45.00	Prosocial
average	39.85		29.95	

Table 4: Results of SVO questionnaire for uncooperative group with information exchange not allowed

UN	Before		After	
1	-7.20	Individualistic	-18.43	Individualistic
2	5.33	Individualistic	5.33	Individualistic
3	-13.42	Individualistic	0.00	Individualistic
4	82.63	Altruist	66.32	Prosocial
average	16.83		13.30	

Table 5: Results of SVO questionnaire for cooperative group with information exchange allowed

CI	Before		After	
	Degree	SVO	Degree	SVO
1	37.57	Prosocial	45.00	Prosocial
2	-37.57	Coompetitive	15.69	Individualistic
3	1.32	Individualistic	14.56	Individualistic
4	35.22	Prosocial	39.97	Prosocial
5	42.18	Prosocial	84.92	Altruist
average	15.74		40.03	

Table 6: Results of SVO questionnaire for uncooperative group with information exchange allowed

UI	Before		After	
1	0.00	Individualistic	29.83	Prosocial
2	0.00	Individualistic	1.82	Individualistic
3	29.85	Prosocial	37.30	Prosocial
4	-7.56	Individualistic	45.00	Prosocial
5	37.49	Prosocial	29.86	Prosocial
6	-64.98	Coompetitive	-7.13	Individualistic
average	-0.87		22.78	

Both groups with information exchange allowed had expected results - the participants became more ready to cooperate after the beergame simulation, but in both groups with information exchange not allowed the participants became even less ready to cooperate. Cooperative group with restriction of information sharing (CN) showed decrease of average cooperability from 39.85 to 29.95 and noncooperative group with no information sharing opportunity (UN) showed decrease of average cooperability from 16.83 to 13.30. Cooperative group with no restriction of information sharing (CI) showed increase of average cooperability from 15.74 to 40.03 and noncooperative group with information sharing opportunity (UI) showed increase of average cooperability from -0.87 to 22.78.

In the Figure 2. are shown cumulative results for all four groups of participants.

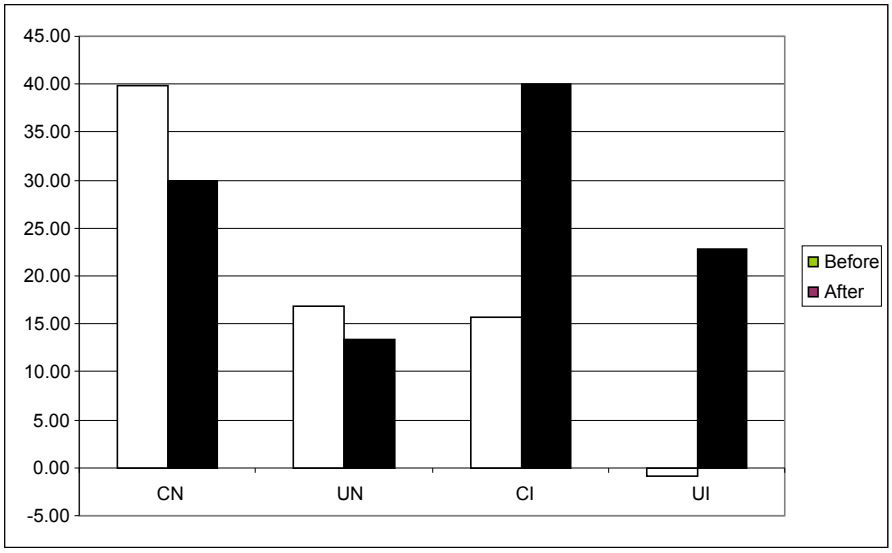


Figure 2: Cumulative results for all four groups of participants

5. CONCLUSION

Significance of cooperativity for successful coordination in supply chain is well known fact. In this study we proved that it is possible to change cooperability of the participants in the supply chain. For that purpose Social Value Orientation questionnaire was applied. Although we expected the overall amplification of the cooperative tendencies after the beergame simulation, it turned out that the results were dependent on conditions in which the game was played. Groups that were given the opportunity to share information enlarged their cooperability, but groups that had no chance to share information were even more reduced their cooperability. There were possibilities that the circumstances in which information were hidden provoke distrust between participants with consequently reducing their willingness to cooperate.

One of the limitations of using beer game simulation is that the results based on individual characteristics of students may not truly capture the behaviour of a company. On the other hand, companies consist of people with their personal characteristics. This paper presents a single experiment with a small sample (21 participants). Therefore, the results are statistically insignificant, but they indicate the need for further analysis with a larger sample. These results give scientific foundation for integrating the elements of personal preference for cooperation and altruistic traits of participants into an equation of effective supply

chain. Nevertheless, there is an idea to continue research in the direction of further explanation of the phenomenon.

REFERENCES

[1] Anthony, T. 2000. "Supply chain collaboration: success in the new internet economy." Accessed January 2014. http://openstorage.gunadarma.ac.id/idkf/idkf-wireless/aplikasi/e-commerce/anthony.pdf.

[2] Chopra, S, Meindl, P. 2001. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and operation, Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey.

[3] Croson, R.T.A., Donohue, K.L., Katok, E., and Sterman, J. 2004. "Order Stability in Supply Chains: Coordination Risk and the Role of Coordination Stock." MIT Sloan Working Paper 4513-04. Accessed January 2014. http://www.utdallas.edu/~emk120030/Order_Stability_0719.pdf

[4] Forrester, J. (1958, July - August). Industrial dynamics, a major breakthrough for decision makers. Harvard Business Review, 36, 37 -66.

[5] Hudnurkar, M., Jakhar, S., and Rathod, U. 2014. "Factors affecting collaboration in supply chain: A literature Review." Procedia - Social and Behavioral Sciences 133: 189–202.

[6] Liebrand, W.B.G. 1984. "The effect of social motives, communication and group-size on behavior in an n-person multi-stage mixed-motive game." European Journal of Social Psychology 14(3): 239-264.

[7] Murphy, R.O., Ackermann, K.A. and Handgraaf, M.J.J. (2011). Measuring Social Value Orientation. Judgment and Decision Making, 6(8), 771-781, Retrieved from http://vlab.ethz.ch/svo/SVO_paper.pdf

[8] Murphy, R.O. and Ackermann, K.A. (2012). A review of social preferences measurement methods. Retrieved from http://vlab.ethz.ch/svo/SVO_paper.pdf

[9] Nix, N., Zachari, Z., Lusch, R., Bridges, W., and Thomas, A. 2004. "Keys to Effective Supply Chain Collaboration." A Special Report from the Collaborative Practices Research Program, The M.J.Neeley School of Business, Texas Christian University, Fort Worth.

[10] Nyaga, G.N., Whipple, J.M., and Lynch, D.F. 2010. "Examining supply chain relationships: Do buyer and supplier perspectives on collaborative relationships differ?" Journal of Operations Management. 28(2): 101–114.

[11] Panić, B., Vujošević, M., Makajić-Nikolić, D. (2014). An Overview of Causes for Bullwhip Effect and Modes of Decreasing their Effect, XIV International Symposium 2014 SYMORG, 1249-1256.

[12] Panić, B. (2015). "Uticaj kooperativnosti na performanse u lancima snabdevanja", phd thesis, Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd.

[13] Sterman, J. (1992). Teaching Takes Off, Flight Simulators for Management Education "The Beer Game", Retreived from: http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html

[14] Sterman, J. (1989). Modelling managerial behaviour: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, Management Science, 35(3), 321 -339.

[15] Van de Vijver, M. 2009. "Collaboration In Buyer-Supplier Relationships." PhD diss., Tilburg University, Accessed January 2013. http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=90480

[16] Zeelenberg, M., Nelissen, R.M.A., Breugelmans, S.M., and Pieters, R. 2008. "On emotion specificity in decision making: Why feeling is for doing." Judgment and Decision Making, 3: 18–27.Strunk, W., Jr., & White, E.B. (2000). The elements of style. (4th ed.). New York: Longman.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SARADNJA U EKSPERIMENTALNOJ IGRI JAVNOG DOBRA

COOPERATION IN THE EXPERIMENTAL PUBLIC GOODS GAME

MARIJA KUZMANOVIĆ[1], ISIDORA KOJČIĆ[2],

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

Rezime: *Društvena dilema je situacija u kojoj postoji sukob između individualnog i kolektivnog interesa. Egoistični interes svakog pojednica jeste da ne ulaže ništa, a da uživa u efektima tuđih ulaganja. Ovakvo ponašanje se naziva fri rajding (free-riding). Međutim, ukoliko svi učesnici izaberu sebičnu strategiju i gledaju samo individualnu korist, zajedničko dobro se ne ostvaruje i svi su na gubitku. U teorija igara ova vrsta društvene dileme poznata je kao dilema zajedničkog dobra i modelira se kroz tzv. Igru javnih dobara. Ova igra ima veliki značaj, jer je primenljiva u mnogim oblastima kolektivnog delovanja. U radu su eksperimentalno istraženi faktori koji utiču na ponašanje igrača i konačne rezultate u igri javnog dobra oličenog u nasipu za zaštitu od poplava.*

Ključne reči: *Društvena dilema, igra javnog dobra, saradnja, fri rajding, eksperiment*

Abstract*: Social dilemma is a collective action situation in which there is a conflict between individual and collective interest. It is a situation in which individuals could do better if they do not contribute to common good and this behaviour is called free-riding. Problems arise when too many group members choose to pursue individual profit and immediate satisfaction rather than behave in the group's best long-term interests. In game theory, this type of social dilemma is known as commons dilemma and it can be modelled and analysed through public goods game. This game is of great importance, because it is applicable in many areas of collective action situations. This paper experimentally examines the factors that affect the behaviour of individuals as well as outcomes in the public good game, presented through the flood protection dam.*

Keywords: *Social dilemma, public goods game, cooperation, free-riding, experiment.*

1. UVOD

Društvena dilema je pojam vezan za problem kolektivnog delovanja u situaciji kada grupa ljudi ima interes da obezbedi zajednički cilj, pri čemu ne postoji eksterni akter koji ih primorava na saradnju. Suština problema je u činjenici da korist od zajedničkog dobra imaju svi članovi zajednice nezavisno od svog doprinosa, a odluke o visini doprinosa donose u skladu sa rizikom da se zajednički cilj ne ostvari usled nedovoljnog ukupnog rezultata svih učesnika.

Teorija igara je naučna disciplina koja uspešno modelira ljudsko ponašanje pri donošenju odluka u situacijama konflikta, delimičnog konflikta ali i saradnje. Društvena dilema i problem saradnje su u teoriji igara konceptualizovani kroz brojne igre, između ostalih i Igre zajedničkog i/ili javnog dobra. Teorija igara je utemeljena na racionalnom izboru, tj. pretpostavci da racionalan igrač uvek bira akciju od koje očekuje najveću dobit, ali najpovoljniju u skladu sa njegovim preferencijama. Dakle, reč je o racionalnosti postupaka za ostvarenje ciljeva, dok sami ciljevi nisu identični za sve ljude i zavise od njihovih preferencija. Činjenicu da racionalno odlučivanje podrazumeva racionalnost postupaka, a ne preferencija, dovodi do različitih tumačenja racionalnosti i iracionalosti u društvenoj dilemi, a i u prosocijalnom ponašanju uopšte. Pored toga, ljudi često donose odluke pod uticajem emocija, nagona, kulturnih i društvenih normi, tako da se može reći da su racionalni i iracionalni faktori isprepletani u domenu preferencija, ali i u domenu odlučivanja.

Dublja analiza iracionalnih faktora često pokazuje da su i oni utemeljeni na sasvim racionalnim osnovama. Dekić u svom radu (Dekić, 2015) navodi da racionalnost podrazumeva samo konzistentnost preferencija. tj. da racionalni pojedinac onaj koji ima konzistentne preferencije, a svoju tvrdnju bazira na Gintisovoj definiciji racionalnog delatnika (Gintis & Herbert, 2009).

Razvoj bihejvioralne teorije igara danas daje i teorijsku i empirijsku osnovu za sveobuhvatno modelovanje ljudskog ponašanja i sistematsko tretiranje racionalnih i iracionalnih faktora, koji uključuju moralne i

društvene norme, heuristike, poverenje, reciprocitet i reputaciju, osećaj za pravdu, osećanje stida, sramote, kajanja ili zadovoljstva zbog pomaganja drugima. Rezultati empirijskih istraživanja, sprovedenih poslednjih petnaestak godina, potvrdili su da je kažnjavanje nepoštenih osoba najefikasnije sredstvo, ne samo za stvaranje, već i održavanje saradnje (Fehr & Gächter, 1999; Drouvelis, 2015). Većina ljudi je na početku voljna da doprinosi kolektivnom dobru, ali motivacija vremenom opada, pa je neminovna pretnja kaznom, bilo od strane saigrača ili nekog spoljašnjeg sistema podsticaja (institucija sistema). Pri tome je bitna spremnost da se žrtvuju lična sredsva za sankcionisanje nepoštenog ponašanja. Zou i saradnici (Zhou, Jiao, & Zhang, 2017) su eksperimentalno utvrdili da je kažnjavanje od strane treće strane efektivnije. Naime uočili su da treća strana kažnjava mnogo češće i ozbiljnije, što rezultira višim nivoom doprinosa od onog koji je uslovljen kažnjavanjem od strane saigrača.

Togneti i saradnici (Tognetti, Dubois, Faurie, & Willinger, 2016) su eksperimentalno utvrdili da muškarci povećavaju doprinos zajedničkom dobru kada postoji polna konkurencija, dok su Čiang i Hsu (Chiang & Hsu, 2017) zaključili da direktan izbor predstavnika grupe kao donosioca odluke doprinosi povećanju saradnje.

Eksperimenti su takođe pokazali da uspehu doprinosi komunikacija između učesnika, javnost i objavljivanje doprinosa, kao i informisanost o visini neophodnih ulaganja (Sommerfeld, Krambeck, Semmann, & Milinski, 2007). S druge strane, vremensko odlaganje uživanja u rezultatima uloženih napora drastično umanjuje šanse za uspeh i najveći je krivac za „tragediju zajedničkog dobra“ (Jacquet, et al., 2013). Efikasnost je srazmerna visini štete i visini rizika gubitka ličnih sredstava (sačuvanih na privatnim računima) ako ne ostvare zajednički poduhvat. Ova dva faktora, gubitak i rizik gubitka, od presudnog su značaja ukoliko ne postoji mogućnost kažnjavanja (Santos & Pacheco, 2011). Eksperiment sproveden maja 2016. godine na Fakultetu organizacionih nauka potvrdio je značaj svesti o pogubnim posledicama neuspeha u obezbeđenju zajedničkog dobra, oličenog u nasipu za zaštitu od poplava. Rezultati empirijskih istraživanja socijalne dileme kolektivnog rizika ukazuju na to da je kolektivna racionalnost osnova rešenja društvene dileme i sredstvo za ostvarenje lične i zajedničke dobrobiti na duge staze.

2. KONCEPT I RACIONALNO REŠENJE IGRE JAVNIH DOBARA

Prema formalnoj klasifikaciji igara, igra zajedničkog dobra pripada grupi kooperativnih igara, gde pojedinci mogu da unaprede sopstvenu korisnost jedino ako sarađuju, tj. ako izaberu ishode koji unapređuju opštu korist. U takvim igrama igrači se pitaju “Šta je najracionalnije da uradim uzimajući u obzir da i druga strana želi da uradi isto što i ja?”. Da bi igrači došli do takvog ishoda, neophodno je usaglasiti (koordinisati) poteze, te otuda takve igre spadaju u igre koordinacije i koperacije.

Igra zajedničkog dobra je igra promenljive sume, gde isplate zavise od odabranih strategija, suprotno od strogo kompetitivne igre fiksne, tj. nulte sume gde su dobici jednog ili više učesnika jednaki gubicima drugih učesnika. Takođe, ona spada u igre sa nepotpunim informacijama o preferencijama drugih igrača. Ova igra se u eksperimentima uglavnom organizuje sekvencijalno, najčešće u deset rundi. Formiraju se manje grupe, uglavnom sa po tri ili četiri igrača. Svaki igrač dobija određenu sumu novca (ili poene) od eksperimentatora. Grupa ima neku vrstu zajedničkog fonda (koji igra ulogu zajedničkog dobra, pa otud i naziv igre). U svakoj rundi igrači mogu da izdvoje deo dodeljenog novca i priložе u zajednički fond. Na kraju, suma prikupljena u zajedničkom fondu se multiplicira određenim koeficijentom i ravnomerno raspodeljuje svim igračima, nezavisno od toga koliko su priložili. Pored toga, ostaje im i novac koji nisu uložili u fond. Marginalna dobit, tj. povraćaj svake uložene novčane jedinice je jednaka faktoru multiplikacije podeljenim sa brojem igrača.

U igri javnih dobara igrači imaju dominantnu strategiju, a to je sebično ponašanje, koje je najbolja opcija u ponašanju bez obzira na to koju opciju odabere druga strana. Bolje je ne ulagati, jer kako god druga strana da postupi, isplata za nesaradnju je veća od isplate za saradnju. To je ujedno i ravnoteža igre - ishod u kome svaki igrač ima najbolji odgovor na izbor drugog igrača, pri čemu se ni jednom igraču ne isplati da se pomeri iz svoje pozicije pod uslovom da se onaj drugi ne pomeri iz svoje (Kuzmanović, 2017). Ali ako svaki učesnik tako razmišlja, dolazi se do suboptimalnog ishoda, jer su isplate igrača manje nego kada bi se opredelili za saradnju. Upravo zbog ovog konflikta između zajedničkih i ličnih interesa i činjenice da odluke pojedinaca jesu dobre za pojedince, ali ne i za kolektiv koga čine isti ti pojedinci, ova igra se naziva društvenom dilemom. Postavlja se pitanje da li su i u kojoj meri pojedinci zaista individualno racionalni (fri rajderi) i koji faktori utiču na njihovo ponašanje u situacijama kao što je prethodno opisana dilema.

3. EKSPERIMENT

U eksperimentu izvedenom maja meseca 2016. godine na Fakultetu organizacionih nauka u Beogradu učestvovalo je 63 studenta poslednje godine studija, smera za Informacione sisteme i tehnologije. Polna struktura je bila prilično ravnomerna, sa 33 (53%) učesnika ženskog pola i 30 (47%) muškog. Cilj eksperimenta

je bio da se uz pomoć eksperimentalne igre zajedničkog dobra istraži ponašanje učesnika u situaciji kada postoji antagonizam između individualno racionalnog sebičnog ponašanja i kolektivno racionalne saradnje.

3.1. Opis eksperimenta

U prvom delu eksperimenta, izmerena je prosocijalna orijentacija *(Social Value Orientation - SVO)* učesnika primenom metode trostruke dominacije (*Triple dominance measure - TDM*), koja se bazira na testiranju sklonosti raspodele novčanih sredstava između sebe i nepoznate osobe. Učesnici su odgovarali na devet pitanja, u okviru kojih su birali po jednu od tri ponuđene kombinacije raspodele, pod pretpsotavkom da se sa tom osobom nikad više neće sresti. Napomenuto im je da daju iskren odgovor u skladu sa svojim afinitetima i da ne postoje dobri i loši odgovori.

Jedna od ponuđenih opcija maksimizira sosptvenu korist, druga opcija maksimizira zajednički rezultat, a treća maksimizira relativnu korist, tj. razliku između sopstvenog i iznosa koji dobija druga osoba. Ako subjekt odabere opciju koja pokazuje određenu orijentaciju u najmanje šest od devet pitanja, klasifikuje se u skladu sa tim izborom. Maksimizacija sopstvene isplate se kategorizuje kao individualistička orijentacija, maksimizacija razlike između sebe i drugih kao kompetitivna, a maksimizacija zajedničke dobiti kao prosocijalna orijentacija.

U drugom delu eksperimenta, igrači su igrali igru zajedničkog dobra. Igra je koncipirana kroz ulaganje u fond za izgradnju nasipa za zaštitu od poplava. Učesnici su podeljeni u grupe od po troje, koje su predstavljale mini društvene zajednice koje sakupljaju sredstva u zajednički fond za izgradnju nasipa, zajedničkog dobra koje treba da spreči uništavanje lične i zajedničke imovine prilikom poplava.

Svakom igraču je na početku eksperimenta dodeljen jedinstven identifikacioni broj i objašnjena pravila igre. Učesnici su upozoreni da je igra anonimna i da je bitno da odigraju što iskrenije, ali da se se posvete igri kao da rukuju pravim sopstvenim novcem, i da odlučuju o ulaganju u realni fond za zaštitu od poplava.

Na početku ige, učesnicima je dodeljen identičan iznos od po 10 poena (novčanih jedinica). Igra se izvodila u 5 rundi. U svakoj rundi svaki od igrača je mogao da uloži 0, 1 ili 2 poena u zajednički fond. Igrači su unosili u tabelu svoje uloge i obznanjivali ih drugima na kraju svake runde. Nakon završetka svih pet rundi, ukoliko je ukupni broj uloženih poena bio veći ili jednak 15, smatralo se da je grupa uspešna i da je sakupila novac za izgradnju nasipa. Ovaj iznos bi u tom slučaju bivao udvostručen i podeljen na 3 jednaka dela – svaki od igrača bi dobio 1/3 duplirane vrednosti zajedničkog fonda. Pored toga, svakom igraču su ostali i poeni koje nije uložio u fond. U suprotnom, ako je sakupljeni broj poena bio manji od 15, zajednički fond bi propao i igrači ne bi imali šta da dele, niti bi im ostali poeni koje nisu uložili u fond, tj. svi bi sve izgubili.

3.2. Pretpostavke

Društvena dilema, tj. antagonizam ličnih i zajedničkih interesa se u eksperimentalnoj igri ogledao u sledećem:

Svaki poen uložen u zajednički fond donosi 0,66 poena, jer se duplira i deli na tri jednaka dela. Pri tome je bitno da uložen poen jednog igrača donosi 0,66 poena svakom igraču, a ne samo onom ko ga je uložio. Sa pojedinačnog gledišta, uloženi poen se obezvređuje na 66% uložene vrednosti, ali donosi dobrobit i drugima, tj. zajednici. Optimalni ishod se dobija kada svi ulože sve. Sa jedne strane, postoji rizik da drugi igrači neće uložiti sve što im je na raspolaganju, pa će im na kraju igre, u slučaju dostignutog praga, ostati neumanjeni poeni, a sa druge strane, kolektivni rizik nedostizanja dovoljne sume u fondu dovodi do tragedije zajedničkog dobra koje vodi u propast sve igrače. U tabeli 1 su dati rezultati igre za nekoliko hipotetičkih scenarija.

Tabela 1: Hipotetički slučajevi kada svi igrači ulože podjednak broj poena

Ukupni ulog igrača tokom cele igre	Zajednički fond	Prinos pojedinca iz zajedničkog fonda	Pojedninačna isplata na kraju igre
0	0	0	0
4	12	0	0
5	15	10	5+10
6	18	12	4+12
10	30	20	0+20

I pored toga što u igri nije postojala mogućnost međusobnog kažnjavanja igrača u slučaju nesaradnje, veliki procenat uspešnosti u ostvarenju zajedničkog dobra očekivan je iz dva razloga:

- Povezivanja sa situacijama iz realnog života (Frejming). Scenario igre je koncipiran kroz zajednički poduhvat sprečavanja katastrofalnih posledica poplava i asocira na bolna iskustva sa poplavama u Srbiji od pre nekoliko godina;

- Velike materijalne štete u slučaju nedostizanja minimalnog praga sakupljenih sredstava u zajedničkom fondu, jer dovodi do totalnog gubitka. U eksperimentu opisanom u (Santos & Pacheco, 2011), autori su potvrdili da uspeh dobrim delom zavisi od šanse da se zadrže sredstva koja nisu uložena u fond. Kada je verovatnoća gubitka tih sredstava bila 10%, skoro nijedna grupa nije dostigla prag, za 50% ga je dostiglo više, a za 90% dostigle su skoro sve grupe. U našem scenariju verovatnoća gubitka je 100%.

3.3. Rezultati

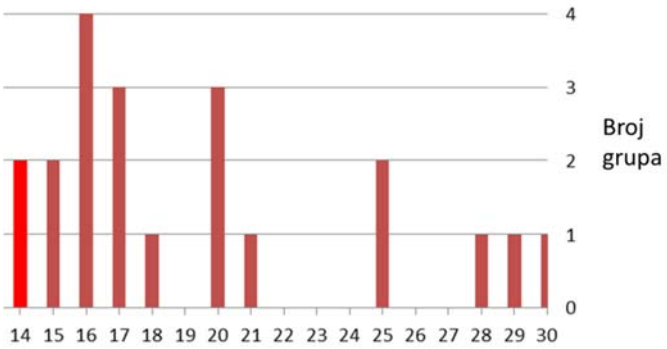
U tabeli 2 je data struktura društveno vrednosne orijentacije učesnika u eksperimentu. Može se uočiti da najveći procenat njih (73,68%) pripada tipu prosocijalne vrednosne orijentacije, dok je samo dvoje (2,63%) učesnika kompetitivnog tipa.

Tabela 2: Raspodela prosocijalnih tipova učesnika u igri zajedničkog dobra

SVO Orijentacija po TDM metodi	muškarci	žene	**ukupno**	procenat
Kompetitivna	1	1	**2**	2,63%
Individualististička	9	9	**18**	23,68%
Prosocijalna	23	33	**56**	73,68%

Zajednički fond i uspešnost grupa

Na slici 1 je data raspodela sredstava sakupljenih u zajednički fond i broja grupa koje su ih ostvarile. Devetnaest od dvadeset jedne grupe igrača je uspela da sakupi dovoljno sredstava za ostvarenje zajedničkog dobra, čime je ostvarena uspešnost veća od 90%. Jedna grupa je skupila čak svih 30 mogućih poena, te su konačne isplate svakog od pripadnika ove grupe bile po 20. Sličan rezultat su ostvarile još dve grupe, sakupivši 28 i 29 poena. Devet grupa je uspelo tek da pređe prag, balansirajući između veličine zadržanih sredstava i ostvarenja cilja zajednice. Među učesnicima iz ovih grupa, najviše je takozvanih fri rajdera.



Slika 1: Sredstva sakupljena u zajedničkom fondu i broj grupa koje su ih ostvarile

Kao što je već napomenuto, samo dve grupe nisu uspele da sakupe dovoljno novca, te je rezultat koji su ostvarili bio 0 za svakog člana tima, bez obzira na iznos uloženih sredstava (tabela 2).

Tabela 2: Ulaganja igrača u zajednički fond kod dve neuspešne grupe

	Neuspešna grupa 1				Neuspešna grupa 2			
	Igrač 1	**Igrač 2**	**Igrač 3**	**Total (kumulativno)**	**Igrač 1**	**Igrač 2**	**Igrač 3**	**Total (kumulativno)**
Runda 1	2	1	2	5 (5)	1	1	2	4 (4)
Runda 2	2	0	2	4 (9)	1	1	1	3 (7)
Runda 3	1	2	1	4 (13)	2	1	1	4 (11)
Runda 4	0	0	0	0 (13)	1	1	1	3 (14)
Runda 5	0	0	1	1 (14)	0	0	0	0 (14)
Ukupno	**5**	**3**	**6**	**14**	**5**	**4**	**5**	**14**

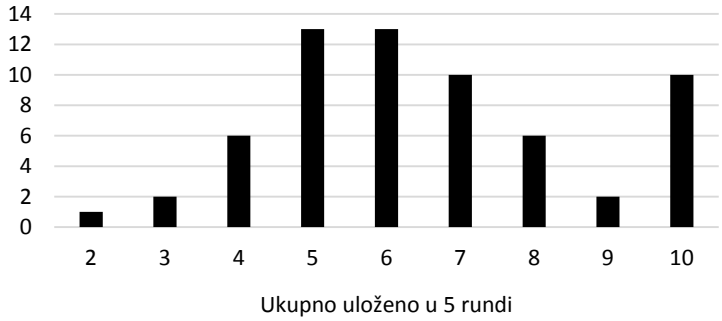
U prvoj neuspešnoj grupi su igrači na početku pokazali dobru saradnju, ali su posle treće runde, nakon koje su sakupili 13 poena, naglo prestali da sarađuju, verovatno računajući da će neko (drugi) uložiti neophodna 2 poena i dostići prag. Za igrača 2 bi se moglo reći da je fri rajder, jer je uložio samo 3 poena, računajući na isplatu od 17 (= 7 + 15 × 2/3). Igrač 3 je prosocijalno orijentisan igrač, i od početka je pokazao visoku kooperativnost. U četvrtoj rundi nije ništa uložio, verovatno smatrajući da će se konačno druga dva igrača

odlučiti da doprinesu zajedničkom dobru, ali kako se to nije desilo, pokušao je da u poslednjoj rundi spase zajednički poduhvat, na žalost bez uspeha.

U drugoj neuspešnoj grupi zajednički fond je rastao postepeno po poslednje runde, kada su svi rizikovali da ne ulože ništa, u nadi da će drugi uložiti jedan preostali neophodni poen (Tabela 2). Kao što je prethodna analiza isplativosti pokazala, jedan uloženi poen se pretvara u 0,66 poena, što je minorna šteta u odnosu na propast zajedničkog poduhvata. U ovoj grupi, u poslednjoj rundi, nijedan od igrača nije želeo da žrtvuje 0,33 poena i taj rizik im se nije isplatio.

Ponašanje i isplate pojedinaca

Na slici 2 je data raspodela ukupno uloženih poena svih učesnika u igri. Čak 10 učesnika je uložilo sva rasoloživa sredstva. Prosek ulaganja po igraču iznosio je 6,5 i bio je isti za muške i ženske učesnike.



Slika 2: Raspodela uloženih poena

Igrači koji su pokazali individualističku i kompetitivnu društvenu orijentaciju su u proseku uložili nešto manje od prosocijalnih igrača, ali ta razlika nije znatna (tabela 3).

Tabela 3: Prosečna ulaganja igrača u zavisnosti od SVO učesnika

SVO igrača	Prosečna ulaganja	Prosečna uspešnost grupe
Kompetitivni	6	100,00%
Individualistični	6,06	82,35%
Prosocijalni	6,73	93,18%
Srednja vrednost	6,52	91,84%

Devet učesnika (od ukupno 63) je uložilo manje od polovine svojih raspoloživih sredstava (manje od 5 poena) u zajednički fond. Prosocijalni profili ovih igrača, takozvanih fri rajdera, dat je u tabeli 4.

Tabela 4: Prosocijalni profili fri rajdera

Pol	SVO	Ukupan ulog	Zajednički fond	Ukupna isplata	Uspešnost grupe
Ženski	Prosocijalna	2	16	18,67	da
Muški	Prosocijalna	3	17	18,33	da
Muški*	Individualistička	3	14	0	ne
Ženski	Prosocijalna	4	15	16	da
Muški	Prosocijalna	4	16	16,67	da
Muški	Prosocijalna	4	15	16	da
Ženski	Individualistička	4	17	17,33	da
Muški	Prosocijalna	4	16	16,67	da
Ženski*	Individualistička	4	14	0	ne

Uprkos malim ličnim ulaganjima, samo dvoje igrača su bili učesnici neuspešnih grupa (označeni sa *), dok su ostali fri rajderi učestvovali u uspešnim grupama i na račun svojih saigrača ostvarili velike isplate, pa se može reći da im se isplatio rizik švercovanja na račun drugih.

Apsolutni pobednik u „hvatanju krivina“ je igrač koji je sa samo 2 uložena poena, i to u poslednjoj rundi, doneo grupi prag uspešnosti, ostvario isplatu od 18,67 poena, dok su ostala dva igrača uložila po 7 poena i dobila isplate po 13,67 poena (tabela 5). U pitanju je studentkinja sa smera za Informacione tehnologije, koja je svoj altruizam ocenila sa 3 (na skali od 1 do 5), posvećenost kolektivnim cijevima sa 2, a po TDM metodi pokazala prosocijalno ponašanje, a u ovoj igri je uspela da udesetostruči uložena sredstva.

Tabela 5: Dinamika ulaganja u grupi sa apsolutnim fri rajderom (igrač 2)

	Igrač 1	Igrač 2	Igrač 3	Suma (kumulativno)
Runda 1	2	0	2	4 (4)
Runda 2	2	0	2	4 (8)
Runda 3	1	0	1	2 (10)
Runda 4	0	0	0	0 (10)
Runda 5	2	2	2	6 (16)
Ukupno	**7**	**2**	**7**	**16**
Isplata	13,67	18,67	13,67	

ZAKLJUČAK

Društvena dilema kao antagonizam ličnih i opštih interesa i ostvarenje društvene saradnje u cilju obezbeđenja zajedničkog dobra su problemi čovečanstva kroz sve epohe. U bihejvioralnoj teoriji igara su ove dileme konceptualizovane kroz mnoge eksperimentalne igre, između ostalog i igru zajedničkih ili javnih dobara, što joj daje izuzetan značaj, jer proučava racionalne i iracionalne faktore ljudskog odlučivanja i ukazuje na činioce koji doprinose uspostavljnju saradnje i ostvarenju kolektivih ciljeva.

Eksperiment sproveden maja 2016. godine na Fakultetu organizacionih nauka potvrdio je značaj svesti o pogubnim posledicama neuspeha u obezbeđenju zajedničkog dobra, oličenog u nasipu za zaštitu od poplava, koji je asocirao na bolna iskustva iz nedavne prošlosti i doveo do uspešnosti od preko 90%. Eksperiment je takođe pokazao jednakost prosocijalnih afiniteta ženskih i muških učesnika, zavidan nivo altruizma i društvene svesti, visok procenat prosocijalne orijentacije, a doneo je i neke neočekivane rezultate i zapažanja. Naime, identifikovan je određen broj fri rajdera, ali to nije znatno uticalo na kolektivne rezultate.

Empirijska istraživanja socijalne dileme kolektivnog rizika, zajedno sa opisanim eksperimentom, ukazuju da je individualna iracionalnost osnova rešenja društvene dileme i sredstvo za ostvarenje lične i zajedničke dobrobiti na duge staze. Racionalno sagledavanje dugoročnih rezultata, uz svest o posledicama nesaradnje, ključni su faktori obezbeđenja zajedničkog dobra kao poduhvata koji zahteva samodisciplinu i odricanje.

REFERENCES

[1] Chiang, Y., & Hsu, Y. (2017). Direct Election of Group Decision-Makers Can Facilitate Cooperation in the Public Goods Game. *Group Decision and Negotiation, 26*(1), 197-213.

[2] Dekić, M. (2015). Јесу ли људи рационално продруштвени? Неки докази из бихејвиоралне теорије игара. *Srpska politička misao, 2*, 53-85.

[3] Drouvelis, M. (2015). Alleviation and Sanctions in Social Dilemma Games. *Games, 6*(3), 368-380.

[4] Fehr, E., & Fischbacher, U. (2002). Why social preferences matter–the impact of non-selfish motives on competition, cooperation and incentives. *The economic journal 112.478*, C1-C33.

[5] Fehr, E., & Gächter, S. (1999). Cooperation and punishment in public goods experiments. *Institute for Empirical Research in Economics working paper*, 989.

[6] Gintis, & Herbert. (2009). *The Bounds of Reason. Game Theory and the Unification of the Behavioal Sciences.* Princeton University Press.

[7] Jacquet, J., Hagel, K., Hauert, C., Marotzke, J., Rohl, T., & Milinski, M. (2013). Intra-and intergenerational discounting in the climate game. *Nature climate change, 3*(12), 1025-1028.

[8] Kuzmanović, M. (2017). *Teorija igara.* Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[9] Santos, F., & Pacheco, J. (2011). Risk of collective failure provides an escape from the tragedy of the commons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*, 10421-10425.

[10] Sommerfeld, R., Krambeck, H., Semmann, D., & Milinski, M. (2007). Gossip as an alternative for direct observation in games of indirect reciprocity. *Proceedings of the national academy of sciences*, *104*, 17435-17440.

[11] Tognetti, A., Dubois, D., Faurie, C., & Willinger, M. (2016). Men increase contributions to a public good when under sexual competition. *Scientific reports, 6*.

[12] Zhou, Y., Jiao, P., & Zhang, Q. (2017). Second-party and third-party punishment in a public goods experiment. *Applied Economics Letters, 24*(1), 54-57.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

FAKTORI SARADNJE U DVOETAPNOJ ULTIMATUM IGRI: REZULTATI EKSPERIMENTA

FACTORS AFFECTING COOPERATION IN TWO-STAGE ULTIMATUM GAME: EXPERIMENTAL EVIDENCE

PETRIJA MILOJEVIĆ[1], MARIJA KUZMANOVIĆ[2]

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka
[2] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Rad se bavi istraživanjem uticaja različitih faktora na ponašanje učesnika u procesu pregovaranja u dvoetapnoj ultimatum igri. Cilj istraživanja bio je da se eksperimentalno utvrdi uticaj pola i društveno vrednosne orijentacije učesnika na visinu ponude i stepen prihvatanja ponuda u datoj verziji ultimatum igre. Rezultati sprovedenog ekperimenta pokazuju da su predlagači nudili veće iznose primaocima u dvoetapnoj nego u standardnoj ultimatum igri, kao i da je na taj iznos uticala društveno vrednosna orijentacija igrača. Takođe, pokazalo se da postoji razlika u odnosu prihvaćenih ponuda učesnika kako različitog pola, tako i učesnika sa različitom društveno vrednosnom orijentacijom.*

Ključne reči: *Bihejvioralna teorija igara, dvoetapna ultimatum igra, saradnja, eksperiment.*

Abstract: *In this paper the impact of various factors on the participants' behavior in the negotiation process in two-stage ultimatum game was analyzed. The aim of the research was to determine the influence of gender and social value orientation on the first players' distribution proposal and the receivers' degree of acceptance. We conducted experiment, and results demonstrate that the proposers offered higher amounts to recipients in two-stage than in the standard ultimatum game, as well as that players' social value orientation affected their behaviour. Also, we find out that there is a difference in level of offer acceptance between participants of different gender, as well as participants with different social value orientation.*

Keywords: *Behaviour game theory, two-stage ultimatum game, cooperation, experiment.*

1. UVOD

U standardnim ekonomskim modelima ljudskog ponašanja, prilikom odlučivanja postoji konstantna tendencija minimiziranja ili čak ignorisanja uticaja ljudskih emocija u procesu donošenja odluka, odnosno idealizovanja donosioca odluke kao savršeno racionalnog kognitivnog bića. Međutim, u poslednjih nekoliko godina, ova pretpostavka je više puta osporena od strane bihejvioralnih ekonomista koji su identifikovali brojne psihološke i emocionalne faktore koji utiče na ljude tokom odlučivanja (Sanfey et al., 2003).

U mnogim strateškim interakcijama, naša verovanja i verovanja drugih ljudi utiču na to kako se vrednuju posledice nekih akcija. Pretpostavke tradicionalnih modela teorije igara su da korisnost zavisi samo od akcija. Međutim, ovo nije dovoljno za opisivanje motivacije i procesa donošenja odluka od strane onih kojima je stalo do reciprociteta, emocija ili društvenih nagrada. Eksperimentalne igre su te koje omogućavaju da donošenje odluka direktno zavisi od verovanja usled kojih je odluka i doneta i pomoću njih je moguće shvatiti širi spektar motiva (Dufwenberg, 2008).

Postoji više eksperimentalnih igara koje se uobičajno koriste prilikom sprovođenja eksperimenata iz oblasti bihejvioralne teorije igara. Neke od najčešće korišćenih igara su dilema zatvorenika, ultimatum igra, igra javnih dobara, diktator igra i igra poverenja. Cilj ovog rada je da utvrdi da li i na koji način društveno vrednosna orijentacija i pol donosioca odluke utiču na saradnju, odnosno na visinu ponude, kao i stepen prihvatanja i odbijanja ponuda u dvoetapnoj ultimatum pregovaračkoj igri.

2. ULTIMATUM PREGOVARAČKA IGRA

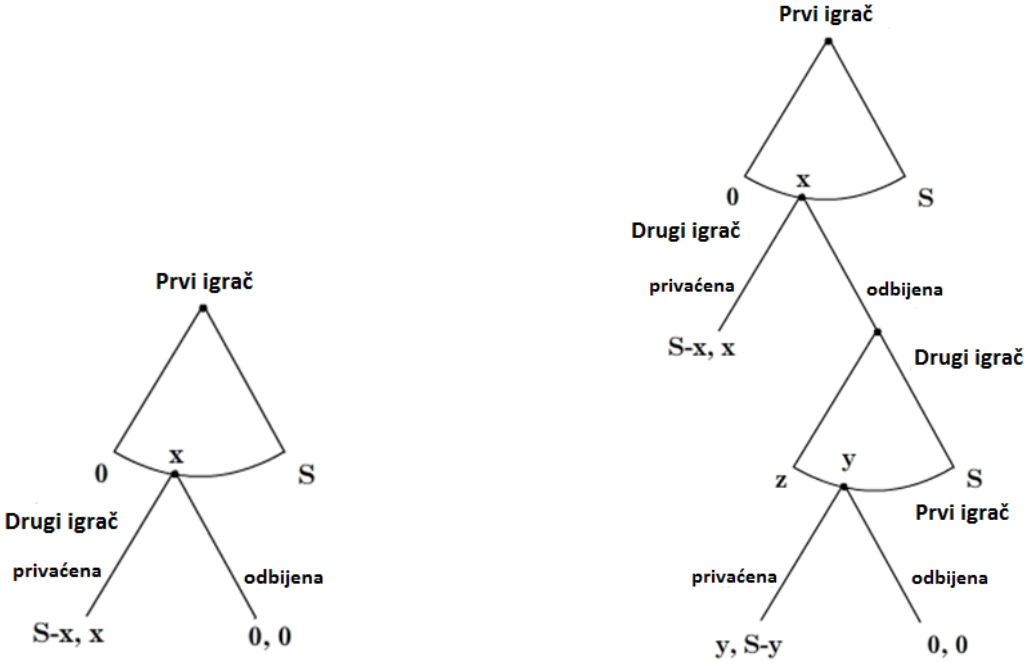
Ultimatum igra predstavlja primer nekooperativne igre pregovaranja koja uključuje dva igrača. Zadatak igrača u ultimatum igri jeste da podele određenu sumu novca koja im je dodeljena. U standardnoj ultimatum igri podela se vrši tako što prvi igrač predloži sumu koju želi da prosledi drugom igraču, a ostatak zadržava za

sebe. Nakon toga, drugi igrač odlučuje da li želi da prihvati ponuđenu sumu novca ili ne. Ukoliko drugi igrač odbije ponudu prvog igrača, nijedan od igrača ne dobija ništa. U suprotnom, vrši se raspodela početne sume novca na način na koji je to predložio prvi igrač (Saad & Gill, 2001). Ukoliko je iznos ukupne sume novca koja je predmet raspodele *S*, a iznos koji je prvi igrač ponudio drugom *x*, onda se ultimatum igra može prikazati kao na slici 1a.

Osnovni predmet razmatranja u ultimatum igri predstavlja iznos koju će prvi igrač ponuditi drugom. Ovaj iznos mora da bude dovoljno veliki kako bi ga drugi igrač prihvatio, ali da pri tome prvi igrač zadrži za sebe što je moguće više. Sa teorijskog stanovišta, racionalna strategija drugog igrača bi trebalo da bude prihvatanje bilo koje pozitivne ponude prvog igrača, pa i najniže, a racionalna strategija prvog igrača bila bi da ponudi najmanji mogući pozitivan iznos, jer bi u tom slučaju najveći deo sume zadržao za sebe (Nowak, Page, & Sigmund, 2000).

Dvoetapna ultimatum igra predstavlja modifikaciju standardne ultimatum igre. U prvoj etapi ove igre, prvi igrač predlaže raspodelu ukupnog iznosa. Ukoliko drugi igrač prihvati predloženu raspodelu, ukupna suma novca se deli na način na koji je to predložio prvi igrač. Međutim, ukoliko drugi igrač odbije ponudu prvog igrača, za razliku od standardne ultimatum igre, igrači ne ostaju bez ičega, već igra prelazi u drugu etapu. U drugoj etapi igre, drugi igrač ima priliku da predloži novu raspodelu i sada prvi igrač donosi odluku o prihvatanju ili odbijanju predložene raspodele. Ukoliko prvi igrač prihvati ponudu drugog igrača, raspodela se vrši na način na koji je to predložio drugi igrač, u suprotnom nijedan od igrača ne dobija ništa.

Ukoliko je ukapan iznos novca koji je predmet raspodele *S*, iznos koji je prvi igrač ponudio drugom igraču *x*, iznos koji je u drugoj etapi igre drugi igrač ponudio prvom *y*, i minimalni iznos koji je drugi igrač mogao da ponudi prvom *z*, tada se dvoetapna ultimatum igra može predstaviti kao na slici 1b. Pri tome, minimalni iznos *z* koji drugi igrač može da ponudi prvom igraču u drugoj etapi igre, može da uzme različite vrednosti u zavisnosti od igre. Ovaj iznos može da bude jednak nuli, ali može da postoji i pravilo kojim se zahteva da minimalni iznos mora da bude veći od iznosa koji je u prvoj etapi ponuđen drugom igraču, tj. da važi $y > z$.



Slika 1: Varijante ultimatum igre: a) standardna, b) dvoetapna

Optimalno rešenje dvoetapne ultimatum igre zavisi od vrednosti *z*. Najčešće ovaj iznos mora biti veći od ponude prvog igrača u prvoj etapi igre i u tom slučaju optimalna strategija prvog igrača bila bi ponuda koja je za jedan manja od polovine ukupnog iznosa, jer u tom slučaju čak i ako njegova ponuda bude odbijena, u drugoj etapi on može da osvoji najmanje polovinu ukupnog iznosa. Optimalna strategija drugog igrača zavisi od visine ponude koju je dobio u prvoj etapi, ukoliko je ponuda bila manja od polovine, drugi igrač bi trebalo da je odbije i zatim ponudi prvom igraču iznos za jedan veći od iznosa koji je on ponudio, a ukoliko je ponuda prvog igrača bila jednaka polovini ukupnog iznosa ili veća, drugi igrač bi trebalo da je prihvati.

Postoji mnoštvo eksperimenata čiji je predmet istraživanja upravo ponašanje ljudi prilikom igranja ultimatum igre. Ovim eksperimenatima ispitivan je uticaj različitih faktora, kao što su pol (Saad & Gill, 2001; Razzaque, 2009), fizička atraktivnost (Bhogal, Galbraith, & Manktelow, 2016; Solnick & Schweitzer, 1999), kulturne razlike (Henrich, 2000; Oosterbeek, Sloof, & Van De Kuilen, 2004), ukupne vrednosti predmeta

raspodele (Cameron, 1999; Cameron & Amiti, 2012), kontekst razmene, društveno vrednosna orijentacija (Fehr & Schmidt, 2005; Karagonlar & Kuhlman, 2013; Bieleke, Gollwitzer, Oettingen, & Fischbacher, 2017) i slično, na ispitanike prilikom donošenja odluka u ultimatum igri.

Bornstein i Yaniv (1998) su istraživali razlike između ponašanja grupa i pojedinaca dok su Sutter, Kocher i Strauss (2003) ispitivali uticaj vremenskog ograničenja na prihvatanje ili odbijanje ponude u ultimatum igri. Poslednjih godina istraživani su i faktori kao što su značaj i vrednost laganja u ultimatum igri sa nesavršenim informacijama (Besancenot, Dubart, & Vranceanu, 2013), uticaj pregovaračke moći na fer ponudu u generalizovanoj ultimatum igri (Ciampaglia, Lozano, & Helbing, 2014), uticaj polne različitosti na interakciju i komunikaciju (Georgantzís, Parasyri, & Tsagarakis, 2017), dok su se Azar i saradnici (Azar, Lahav, & Voslinsky, 2015) bavili istraživanjem uticaja ubeđenja i socijalnog ponašanja u višeetapnoj ultimatum igri.

3. EKSPERIMENT

3.1. Cilj eksperimenta i učesnici

Istraživanje je sprovedeno sa ciljem da se ispita nivo prosocijalnog ponašanja individua putem eksperimentalne dvoetapne ultimatum igre, pri čemu je, umesto novca, za sredstvo razmene uzet određen iznos bonus poena, koji je za učesnike eksperimenta imao određenu vrednost. Posebno je istražen uticaj pola i društveno vrednosne orijentacije na ponašanje učesnika prilikom deobe.

Eksperiment je sproveden nad studentima završne godine osnovnih studija Fakulteta organizacionih nauka. Od ukupno 60 ispitanika koji su učestvovali u eksperimentu, 29 (48,33%) je bilo muškog pola, dok su ostalih 31 (51,67 %) bili ženskog pola.

3.2. Opis eksperimenta

Prva faza eksperimenta odnosila se na merenje društveno vrednosne orijentacije svakog od učesnika, kao i stepena altruizma koji poseduju. Ispitanci su popunjavali upitnik čiji je prvi deo sadržao tvrdnje (videti tabelu 1) za koje su ispitanici davali ocene od 1 do 5 u zavisnosti od stepena slaganja, pri čemu je ocena 5 značila da se ispitanik u potpunosti slaže, a ocena 1 da se apsolutno ne slaže sa datom tvrdnjom.

Drugi deo upitnika zahtevao je od ispitanika da zamisle da su slučajno upareni sa osobom koju ne poznaju i koju verovatno nikada neće upoznati. Od ispitanika se zahtevalo da donesu devet odluka koje se odnose na raspodelu poena izborom jedne od tri ponuđene varijante raspodele. U svakoj od ovih odluka, jedna od tri ponuđene raspodele bila je takva da su i ispitanik i druga osoba dobijali podjednak broj poena, na primer, 500/500. Takođe, uvek je postojala i takva raspodela koja je ispitaniku nudila veći broj poena, ali je u toj raspodeli drugoj osobi sledio manji broj poena, na primer, 550/300. Treća predložena raspodela, ispitaniku je nudila isti ili neznatno manji ili veći broj poena od podjednake raspodele, ali je drugoj osobi prilikom ove raspodele sledio znatno manji broj poena, na primer, 500/100. Opisana tehnika je u literaturi poznata pod nazivom metoda trostruke dominacije (*Triple Dominance Measure*) (Van Lange, Otten, De Bruin, & Joireman, 1973), i služi za merenje društveno vrednosne orijentacije ispitanika, odnosno utvrđivanje da li je ispitanik prosocijalan, individualista ili takmičarski tip.

U drugoj fazi eksperimenta učesnici su u eksperimentalnim uslovima igrali dvoetapnu ultimatum igru. Učesnicima je pružena mogućnost da podele 10 bonus poena iz predmeta Teorija igara sa nasumično odabranim kolegom. Bonus poeni kao sredstvo razmene su izabrani upravo iz razloga što su za učesnike u eksperimentu imali određenu vrednost za koju se vredi boriti. Podela poena je vršena tako što najpre prvi igrač predlaže raspodelu i ukoliko se drugi igrač složi, poeni bi bili podeljeni na način na koji je to predložio prvi igrač. Ako drugi igrač odbije ponudu, dobija mogućnost da predloži novu raspodelu, ali pri tome on prvom igraču mora da ponudi veći broj poena od broja poena koji je njemu bio ponuđen od strane prvog igrača a koji je odbio. Ukoliko prvi igrač prihvati ponudu drugog igrača, poeni bi bili podeljeni na način na koji je to predložio drugi igrač, u suprotnom nijedan od igrača ne bi dobio ništa.

3.3. Rezultati

Nakon analize odgovora ispitanika, datih u prvoj fazi eksperimenta, određena je društveno vrednosna orijentacija svakog od njih. Utvrđeno je da najveći broj ispitanika, 43 (72%), pripada prosocijalnom tipu, 15 ispitanika (25%) su individualisti, dok je samo dvoje (3%) ispitanika takmičarski tip.

Analizom odgovora kojima su ispitanici izrazili slaganje sa tvrdnjama datim u anketi, dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 1. Ispitivanjem stepena korelisanosti odgovora na pojedinačne tvrdnje, uočeno je da su neke od njih međusobno pozitivno korelisane. Za ispitivanja korelacije korišćen je Pirsonov koeficijent korelacije. Između tvrdnji „Kolektivni interesi su iznad ličnih“ i „Sebe smatram altruistom“ uočena je pozitivna korelacija

(0,352), koja je, iako relativno slaba, statistički značajna (p = 0,006). Takođe, između tvrdnji „Sebe smatram altruistom“ i „Redovno učestvujem u humanitarnim akcijama“ uočena je relativno slaba pozitivna korelacija (0,401), ali je statistički takođe značajna (p = 0,001).

Tabela 1: Slaganje ispitanika sa tvrdnjama

Tvrdnja	Prosečna ocena	S.D.
Sebe smatram altruistom	3,80	0,898
Kolektivni interesi su iznad ličnih interesa	3,40	0,848
Redovno učestvujem u humanitarnim akcijama	2,88	0,922
Dobrovoljni sam davalac krvi	2,83	1,596

U drugoj fazi eksperimenta, na početku su se svi ispitanici našli u ulozi prvog igrača i dali svoju ponudu raspodele bonus poena. Prosečan broj poena koji su ispitanici nudili drugoj osobi iznosio je 4,43 poena, od ukupno 10 poena. Osobe ženskog pola su u proseku nudile 4,45 poena, dok su osobe muškog pola nudile 4,41 poena, te se može zaključiti da ne postoje značajne razlike u visini ponude u odnosu na pol ispitanika.

U odnosu na društveno vrednosnu orijentaciju ispitanika, postojale su razlike u broju poena koje su ispitanici nudili drugim osobama. Više od polovine prosocijalnih ispitanika (56%) je drugoj osobi ponudilo ravnopravnu raspodelu od po 5 poena. Kod individualista je najveći broj ispitanika ponudio 4 poena (53%), a kod ispitanika koji su takmičarskog tipa svi ispitanici su ponudili po 4 poena (Tabela 2).

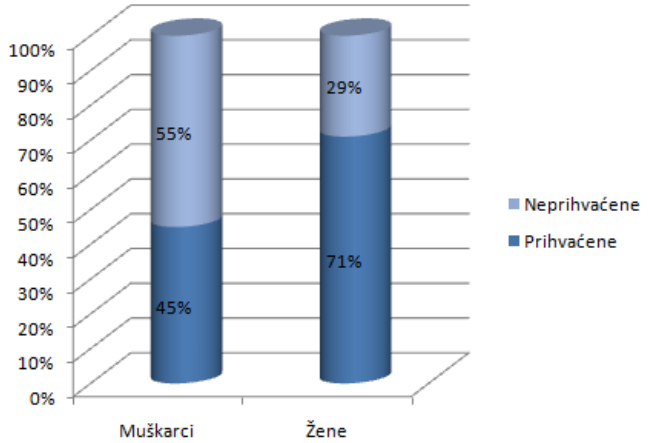
Prosečna visina ponuda ispitanika prosocijalnog tipa iznosila je 4,51 poena, individualisti su u proseku nudili 4,27 poena, dok je prosek ponuda ispitanika takmičarskog tipa bio 4 poena.

Tabela 2: Broj i vrednost ponuda u odnosu na društveno vrednosnu orijentaciju ispitanika

Društveno vrednosna orijentacija	Vrednost ponude				
	2	3	4	5	6
Takmičarski tip			2		
Individualisti	1		8	6	
Prosocijalni tip	1	2	15	24	1
Ukupno	**2**	**2**	**25**	**30**	**1**

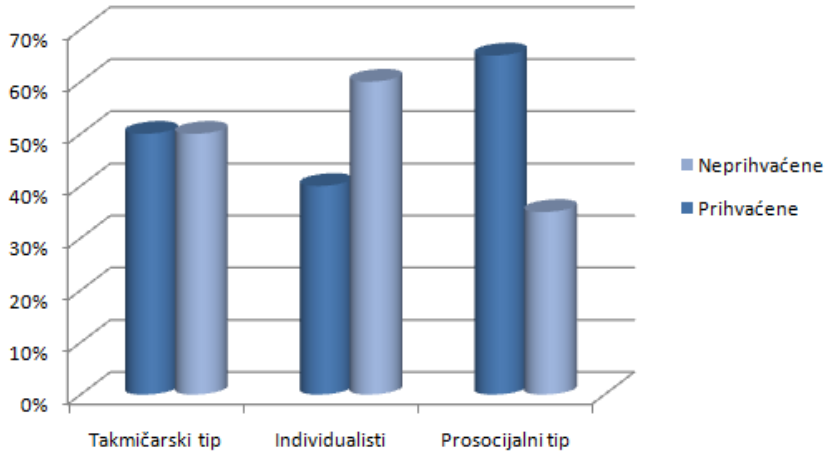
Dvoetapna ultimatum igra, koja je korišćena u eksperimentu, poseduje optimalnu strategiju. Optimalna strategija prvog igrača je ponuda raspodele u kojoj on drugom igraču nudi 4 poena, a za sebe zadržava preostalih 6 poena. U tom slučaju broj poena koje osvaja ne može biti manji od polovine ukupnih poena, jer i u slučaju da drugi igrač odbije njegovu ponudu i on ne zadrži svojih 6 poena, minimalan broj poena koji će osvojiti je 5, jer drugi igrač njemu mora da ponudi više od 4 poena. Na osnovu analize ponuda prvih igrača može se zaključiti da je 25 ispitanika (42%) odigralo racionalno, dok je čak 30 ispitanika (50%) već u prvoj etapi ponudilo ravnopravnu raspodelu.

Od ukupno 60 ponuda u prvoj etapi, 35 je prihvaćeno. Najveći broj prihvaćenih ponuda (30), bila je upravo ravnopravna raspodela poena. Od preostalih 5 prihvaćenih ponuda u četiri slučaja su prvi igrači ponudili 4 poena, a u jednom čak 6 poena. Prosečna vrednost prihvaćenih ponuda iznosila je 4,91 dok je prosečna vrednost odbijenih ponuda bila dosta niža i iznosila tek 3,76 poena. Uočeno je da postoji razlika u broju prihvaćenih i odbijenih ponuda između ispitanika muškog i ženskog pola (Slika 2). Znatno već broj žena je prihvatilo ponudu (22 od 31), dok je kod ispitanika muškog pola broj prihvaćenih ponuda niži i iznosi tek 13 (od 29).



Slika 2: Odnos prihvaćenih i neprihvaćenih ponuda u odnosu na pol ispitanika

Uočene su određene razlike u broju prihvaćenih i odbijenih ponuda između ispitanika sa različitom društveno vrednosnom orijentacijom (Slika 3). Prosocijalni ispitanici su imali najveći broj prihvaćenih ponuda. Od ukupno 43 ispitanika prosocijalnog tipa ponudu je prihvatilo 28 ispitanika. Ispitanici koji pripadaju tipu individualista su imali dosta manji broj prihvaćenih ponuda, 6 od ukupno 15 ponuda. Od 2 ispitanika koja pripadaju takmičarskom tipu, jedan je prihvatio, dok je drugi odbio ponudu.



Slika 3: Odnos prihvaćenih i neprihvaćenih ponuda u odnosu na društveno vrednosnu orijentaciju ispitanika

U drugoj etapi igre svih 25 novih ponuda je prihvaćeno. Prosečna vrednost ponuđenih poena je u ovom slučaju bila najveća i iznosila je 4,96 poena. Može se primetiti da se ispitanici kojima je u prvoj etapi bilo ponuđeno manje od 4 poena nisu ponašali osvetoljubivo i većina njih je svejedno ponudila ravnopravnu raspodelu od po 5 poena.

Ispitanici su u obe etape dvoetapne ultimatum igre unosili i minimalni broj poena koji su bili spremni da prihvate prilikom raspodele. U prvoj etapi prosečna vrednost minimalnog prihvatljivog broja poena iznosila je 4,78 poena, dok je u drugoj etapi iznosila 4,95 poena.

Razmatrajući posebno minimalni prihvatljivi iznos poena muškog i ženskog pola, uočeno je da su osobe ženskog pola bile spremne da prihvate manju vrednost od osoba muškog pola. Prosečna minimalna prihvatljiva vrednost poena kod ispitanika ženskog pola iznosila je 4,57 poena, dok je kod ispitanika muškog pola ta vrednost bila veća i iznosila 5 poena.

Uočeno je da je od svih ispitanika koji su ponudili drugoj osobi 4 bonus poena, čak 76% njih, unelo kao svoj minimalni prihvatljivi iznos 5 poena. Može se zaključiti da su ovi ispitanici, iako iznos od 4 poena nije iznos koji bi oni prihvatili, dali ovakvu ponudu jer su uočili optimalnu strategiju ove igre i pokušali da osvoje što veći broj poena, a da pri tome ne rizikuju i sigurno ostvare bar polovinu bonus poena, odnosno sebi osiguraju svoj minimalni prihvatljivi iznos od 5 poena.

4. ZAKLJUČAK

Tradicionalna teorija igara počiva na pretpostavci da se u strateškim interakcijama pojedinci racionalno ponašaju. Međutim, čak i kada je poželjno biti racionalan, to ne znači da će svi ljudi biti motivisani samo sopstvenim interesima, što je i pokazano brojnim eksperimentima. Eksperimentalni rezultati nude dokaze protiv racionalnog individualnog koncepta. U poslednjih nekoliko decenija postoji povećano interesovanje za socijalne preferencije. Razlog je taj što one mogu da pomognu prilikom razumevanja ponašanja pojedinaca, kao i prilikom otkrivanja faktora koji utiču na proces donošenja odluka.

Rezultati eksperimenta opisanog u ovom radu takođe podržavaju tvrdnju da pojedinci ne posmatraju samo sopstvene interese i da prilikom igranja ultimatum igre teže što pravednijoj raspodeli. Ovo se može zaključiti posmatranjem prosečne ponude prvog igrača koja je iznosila 4,43 poena, što predstavlja približno polovinu poena od ukupno 10 poena.

Prilikom razmatranja razlika u visini ponuda pojedinaca sa različitom društveno vrednosnom orijentacijom uočene su neke razlike. Kao što je i očekivano, prosocijalni pojedinci su nudili najveći broj poena drugom igraču, dok su najmanje poena nudili pojedinci takmičarskog tipa.

Nešto više od polovine predloženih raspodela bilo je prihvaćeno u prvoj etapi igre. Od svih prihvaćenih ponuda, čak 85,71% je predstavljalo ravnopravnu raspodelu od po 5 poena.

Kada je u pitanju broj prihvaćenih ponuda, uočena je razlika između muškaraca i žena. Žene su naime prihvatile mnogo veći broj ponuda, iako razlike u ponudama nisu bile značajne. Pojedinci prosocijalnog tipa

su i u ovom slučaju pokazali svoje prosocijalno ponašanje i prihvatili najveći broj predloženih raspodela, dok su individualisti odbili najviše ponuda.

LITERATURA

[1] Azar, O., Lahav, Y., & Voslinsky, A. (2015). Beliefs and social behavior in a multi-period ultimatum game. *Frontiers in behavioral neuroscience, 9*.

[2] Besancenot, D., Dubart, D., & Vranceanu, R. (2013). The value of lies in an ultimatum game with imperfect information. *Journal of Economic Behavior & Organization, 93*, 239-247.

[3] Bhogal, M., Galbraith, N., & Manktelow, K. (2016). Physical attractiveness, altruism and cooperation in an ultimatum game. *Current Psychology*, 1-7.

[4] Bieleke, M., Gollwitzer, P., Oettingen, G., & Fischbacher, U. (2017). Social Value Orientation Moderates the Effects of Intuition versus Reflection on Responses to Unfair Ultimatum Offers. *Journal of Behavioral Decision Making, 30*(2), 569-581.

[5] Bornstein, G., & Yaniv, I. (1998). Individual and group behavior in the ultimatum game: Are groups more "rational" players? *Experimental Economics 1.1*, 101-108.

[6] Cameron, L. A. (1999). Raising the stakes in the ultimatum game: Experimental evidence from Indonesia. *Economic Inquiry 37.1*, 47-59.

[7] Cameron, L., & Amiti, M. (2012). Trade Liberalization and the Wage Skill Premium: Evidence from Indonesia. *Journal of International Economics*, 277-287.

[8] Ciampaglia, G., Lozano, S., & Helbing, D. (2014). Power and fairness in a generalized ultimatum game. *PloS one, 9(6)*, e99039.

[9] Dufwenberg, M. (2008). Psychological games. *The new Palgrave dictionary of economics 2* , 50-76.

[10] Fehr, E., & Schmidt, K. M. (2005). The Economics of Fairness, Reciprocity and Altruism – Experimental Evidence and New Theories. U *Handbook of Reciprocity, Gift-Giving and Altruism.* Elsevier (North Holland Publishing Co.).

[11] Georgantzís, N., Parasyri, D., & Tsagarakis, K. (2017). Inter-gender interaction and communication in ultimatum games. *Applied Economics Letters, 24*(12), 858-862.

[12] Henrich, J. (2000). Does Culture Matter in Economic Behavior? Ultimatum Game Bargaining Among the Machiguenga of the Peruvian Amazon. *American Economic Review*, 973-979.

[13] Karagonlar, G., & Kuhlman, D. M. (2013). The role of Social Value Orientation in response to an unfair offer in the Ultimatum Game. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 228-239.

[14] Nowak, M. A., Page, K. M., & Sigmund, K. (2000). Fairness versus reason in the ultimatum game. *Science 289.5485*, 1773-1775.

[15] Oosterbeek, H., Sloof, R., & Van De Kuilen, G. (2004). Cultural differences in ultimatum game experiments: Evidence from a meta-analysis. *Experimental Economics 7.2*, 171-188.

[16] Razzaque, S. (2009). The ultimatum game and gender effect: Experimental evidence from Pakistan. *The Pakistan Development Review*, 23-46.

[17] Saad, G., & Gill, T. (2001). Sex differences in the ultimatum game: An evolutionary psychology perspective. *Journal of Bioeconomics, 3*(2-3), 171-193.

[18] Sanfey, A. G., Rilling, J. K., Aronson, J. A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2003). The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. *Science, 300(5626)*, 1755-1758.

[19] Solnick, S. J., & Schweitzer, M. E. (1999). The influence of physical attractiveness and gender on ultimatum game decisions. *Organizational behavior and human decision processes 79.3*, 199-215.

[20] Sutter, M., Kocher, M., & Strauss, S. (2003). Bargaining under time pressure in an experimental ultimatum game. *Economics Letters 81.3* , 341-347.

[21] Van Lange, P., Otten, W., De Bruin, E., & Joireman, J. (1973). Development of prosocial, individualistic, and competitive orientations: Theory and preliminary evidence. *Journal of Personality and Social Psychology, 73*(4), 733.

2017

MEKO RAČUNARSTVO

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

USING FUZZY AHP AND FUZZY VIKOR TO FIND THE MOST SUITABLE CROPS IN A REGION

ATHANASIOS DRAGOSLIS[1], PANAGIOTA DIGKOGLOU[2], VASSILIS KOSTOGLOU[3], JASON PAPATHANASIOU[4]

[1] Department of Business Administration, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece, dragosli@uom.edu.gr
[2] Department of Business Administration, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece, giotadigkogloul@outlook.com
[3] Department of Information Technology, Alexander Technological Institution of Thessaloniki, Greece, vkostogl@it.teithe.gr
[4]Department of Business Administration, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece, jasonp@uom.edu.gr

Abstract: *The current international financial environment enforces enterprises of the agricultural sector to adopt organizational strategies oriented to the full integration of the ICT technologies, in order to preserve their existence within the globalized market. The main aim of this paper is to present the application of a Decision Support System (DSS), for the tillage allocation problem in terms of productivity optimization. The suggested DSS is based on a collaborative combination of the AHP and VIKOR multicriteria methods in a fuzzy environment and it is designed to solve complex decision problems that have many alternative solutions taking into account conflicting qualitative and quantitative criteria. In particular, fuzzy AHP (FHAP) is used for the estimation of the criteria weights, which are then used as input by VIKOR for the multicriteria analysis. We applied experimentally our DSS on a set of seven corps, deriving the input data from the official statistical report "INDICATORS 2007" that was published by the Administrative Authority of Central Macedonia. Additionally, the evaluation criteria and their relevant importance were determined in collaboration with stakeholders of the agricultural sector.*

Keywords: *Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR, Agricultural sector, Multiple criteria decision making.*

1. INTRODUCTION

In recent years, there has been an increased interest in issues related to the agricultural sector and several surveys have been conducted in order to increase the overall efficiency. The evolution of ICT technologies can assist the effort for the improvement of productivity and thus rural economy can manage its resources consumption in a more intelligent and environmentally friendly manner. In our study, we present the application of a DSS for the tillage allocation problem, focusing on the objective of performance optimization. The suggested DSS uses the FAHP for the calculation of the evaluation criteria weights. The FVIKOR model uses as parameters the evaluations for each alternative and in each criterion and the calculated by FAHP weights, in order to construct a ranking and suggest the better compromised solution. As alternative solutions we use seven fairly similar crops regarding their physical characteristics: eggplant, fresh green beans, fresh peas, pepper, soybean, tomato and industrial tomato. The eight used evaluation criteria and their relevant importance, namely, income, cost, temperature, environment, irrigation, human labor, soil demands and machine labor, were determined in collaboration with farmers and stakeholders of the agricultural sector.

2. METHODOLOGY

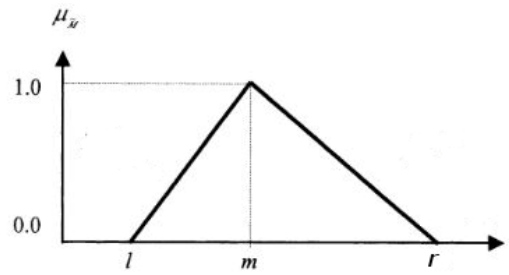
The majority of human-centered systems' functions' use logic with fuzzy rules than the classic two-valued logic. The main characteristic of human thinking is the capability to summarize information out of large masses of data and create subcollections precisely relevant to the problems under consideration. Those subcollections are approximations of the initially data with a lower but accepted degree of precision and encode the relevant information into fuzzy sets with no well-defined boundaries in regard to the property of membership of their elements (Zadeh, 1965). From this perspective, the imprecision of fuzzy sets cannot be

treated as a random variable or a stochastic process but they must be considered as classes of objects with a membership grade from full-membership to non-membership. Therefore, the main characteristic of a fuzzy set is a membership function, which assigns a membership value from 0 to 1 to every object that belongs to that set (Zadeh, 1973; Zimmermann, 2001). In our DSS we use the form of the triangular fuzzy number (TNF). A triangular fuzzy number TFN $\tilde{N} = [l, m, r]$ in $\square$ is, as shown in figure 1, a fuzzy number with membership function $\mu_{\tilde{N}}(x) : \square \rightarrow [0,1]$:

$$\mu_{\tilde{N}}(x) = \begin{cases} 0 \;\; if \;\; x > r \;\; or \;\; x < l \\ \dfrac{x-l}{m-l}, \;\; for \;\; l \le x \le m \\ \dfrac{r-x}{r-m}, \;\; for \;\; m \le x \le r \end{cases}$$

with $-\infty < l \le m \le r < \infty$ (Tang and Lin , 2011;Kahraman, Cebeci and Ruan, 2004;Chang, 1996).

Figure 1. The triangular fuzzy number $\tilde{N}$ (Kahraman, Cebeci and Ruan, 2004, p. 174).



2.1 Fuzzy AHP (FAHP)

In several practical applications of AHP, the decision maker might be unable or unwilling to assign certain crisp values as the relative importance of criteria for the procedure of pairwise comparisons. Fuzzy AHP developed to confront adequately the uncertainty and imprecision associated with the decision maker's perception, using fuzzy numbers in order to incorporate incomplete, ambiguous or partial information into the decision model (Chou, Hsu & Chen, 2008). In FAHP the scalar values that express the subjective opinion of the decision maker about how many times more important is one criterion in comparison to another (Table 2.1) are represented by triangular numbers (Ayhan, 2013). The result of FAHP is the calculation of the normalized weights of the criteria under consideration. Several techniques have been proposed for the extraction of priorities from the fuzzy pairwise comparison matrix. Our DSS uses the proposed by J. Buckley approach of geometric mean. (Ayhan, 2013; Mikhailov, 2003).

Table 1. Fuzzy AHP Importance Scale.

Triangular Scalar Value $[l, m, r]$	Definition
[1,1,1]	Equally important
[2,3,4]	Moderately more important
[4,5,6]	Strongly more important
[6,7,8]	Very strongly more important
[9,9,9]	Extremely more important
[1,2,3], [3,4,5], [5,6,7], [7,8,9]	Intermediate values

2.2 Fuzzy VIKOR (FVIKOR)

VIKOR developed by S. Opricovic in 1990 as a multicriteria analysis method for solving complex decision problems with several potential alternative solutions and integrating conflicting criteria. The outcome of VIKOR is a ranking of the possible solutions and the suggestion of the subset of solution that is "closest" to the "ideal" solution. (Yazdani and Graeml, 2014). However, in some situations the decision maker is unable to express a perception or judgment without uncertainty or vagueness (Zadeh, 1965). FVIKOR can resolve

the imprecision or vagueness of human judgment, modeling both criteria and weights as TNF fuzzy numbers and execute using the fuzzy operations and ranking procedure (Sanayei, Mousavi &Yazdankhah, 2010). Measure of the "closeness" for the compromise ranking is the aggregating function (Yu, 1973; Zeleny, 1982; San Cristobal, 2011):

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left[w_i \cdot \left(f_i^* - f_{ij} \right) \Big/ \left(f_i^* - f_i^- \right) \right]^p \right\}^{1/p} \quad ,1 \le p \le \infty \text{ και } j = 1, 2, \ldots, m$$

where n is the number of criteria, m is the number of the alternative solutions, $w_i = [l_i^w, m_i^w, r_i^w]$ is the weight of the criterion i, $\tilde{f}_i^* = [l_i^*, m_i^*, r_i^*]$ is the best and $\tilde{f}_i^o = [l_i^o, m_i^o, r_i^o]$ is the worst value of criterion i for all alternatives and $\tilde{f}_{ij} = [l_{ij}, m_{ij}, r_{ij}]$ is the evaluation of the alternative j in regard to criterion i. FVIKOR the values:

$$L_{1,j} = \tilde{S}_j = \sum_{i=1}^{n} \tilde{w}_i \otimes \tilde{d}_{ij}, \quad j = 1, 2, \ldots, m,$$

$$L_{\infty,j} = \tilde{R}_j = \underset{i}{MAX} \left[\tilde{w}_i \otimes \tilde{d}_{ij} \right], \quad j = 1, 2, \ldots, m,$$

$$\tilde{Q}_j = v\left(\tilde{S}_j \,!\; \tilde{S}^*\right) \Big/ \left(S^{or} - S^{*l}\right) \oplus (1-v)\left(\tilde{R}_j \,!\; \tilde{R}^*\right) \Big/ \left(R^{or} - R^{*l}\right), \; j = 1, 2, .., m$$

as measures for the ranking. The alternative with the minimum S-value is the one with the maximum group utility (the rule of "majority") and the alternative with the minimum R-value is the one with the minimum individual regret of the "opponent" (Opricovic and Tzeng, 2004).The parameter v is used for the adjustment of the strategies of maximum group utility and individual regret (Opricovic and Tzeng, 2007) and takes values in the interval [0, 1]. Finally, FVIKOR constructs the ranking lists S, R and Q in descending order and propose the compromise solution according to the following rules (Opricovic, 2011; Kim and Chung, 2013):

a) The alternative $A^{(1)}$with the minimum Q value if:
   C1. "Acceptable advantage": Q ($A^{(2)}$) - Q ($A^{(1)}$) >= DQ, where $A^{(2)}$ is the second alternative in Q list and DQ = 1/(1-m).
   C2. "Acceptable stability in decision making": The alternative $A^{(1)}$is also first in list S and/or R.
b) The alternatives $A^{(1)}$and $A^{(2)}$ of Q list if only the condition C2 is not satisfied.
c) The alternatives $A^{(1)}$, $A^{(2)}$,..., $A^{(M)}$ of Q list, for maximum M determined by the inequality Q ($A^{(M)}$) - Q ($A^{(1)}$) < DQ if the condition C1 is not satisfied.

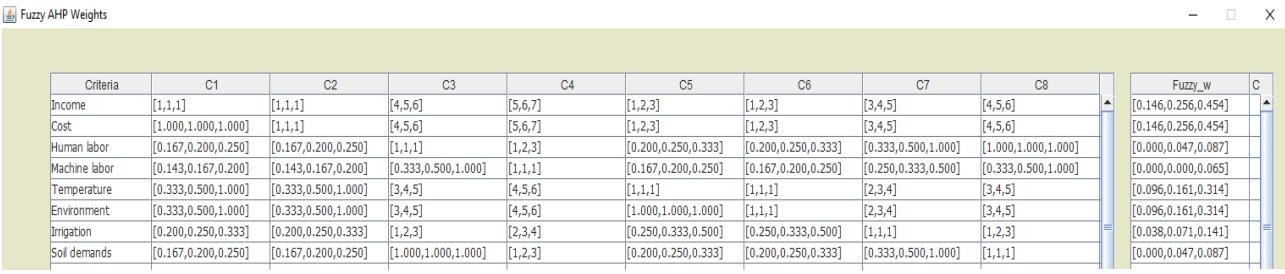
3. CASE STUDY

Our goal is to find the most suitable crop for an area with certain topological and physical characteristics. The region under consideration belongs to category "Irrigated" and is of the type "Dynamic". The temperature levels are considered to be "Moderate/High" and the type of solid is "Loam-Sandy".

3.1. Criteria Weights using fuzzy AHP

Figure 2 shows the AHP model we developed. It contains the relevant importance of each criterion in comparison to the others and on the right side, the calculated normalized weights. According to the results, the most important criteria are the cost of the cultivation and the expected income. Figure 3 shows more clearly the severity of the weight's effect during analysis procedure.

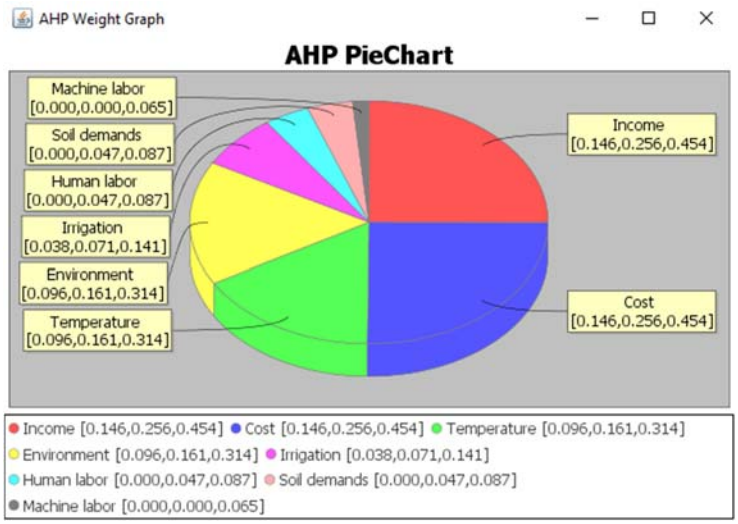
Figure 2. Criteria weights using AHP



Fuzzy AHP Weights

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Fuzzy_w	C
Income	[1,1,1]	[1,1,1]	[4,5,6]	[5,6,7]	[1,2,3]	[1,2,3]	[3,4,5]	[4,5,6]	[0.146,0.256,0.454]	
Cost	[1.000,1.000,1.000]	[1,1,1]	[4,5,6]	[5,6,7]	[1,2,3]	[1,2,3]	[3,4,5]	[4,5,6]	[0.146,0.256,0.454]	
Human labor	[0.167,0.200,0.250]	[0.167,0.200,0.250]	[1,1,1]	[1,2,3]	[0.200,0.250,0.333]	[0.200,0.250,0.333]	[0.333,0.500,1.000]	[1.000,1.000,1.000]	[0.000,0.047,0.087]	
Machine labor	[0.143,0.167,0.200]	[0.143,0.167,0.200]	[0.333,0.500,1.000]	[1,1,1]	[0.167,0.200,0.250]	[0.167,0.200,0.250]	[0.250,0.333,0.500]	[0.333,0.500,1.000]	[0.000,0.000,0.065]	
Temperature	[0.333,0.500,1.000]	[0.333,0.500,1.000]	[3,4,5]	[4,5,6]	[1,1,1]	[1,1,1]	[2,3,4]	[3,4,5]	[0.096,0.161,0.314]	
Environment	[0.333,0.500,1.000]	[0.333,0.500,1.000]	[3,4,5]	[4,5,6]	[1.000,1.000,1.000]	[1,1,1]	[2,3,4]	[3,4,5]	[0.096,0.161,0.314]	
Irrigation	[0.200,0.250,0.333]	[0.200,0.250,0.333]	[1,2,3]	[2,3,4]	[0.250,0.333,0.500]	[0.250,0.333,0.500]	[1,1,1]	[1,2,3]	[0.038,0.071,0.141]	
Soil demands	[0.167,0.200,0.250]	[0.167,0.200,0.250]	[1.000,1.000,1.000]	[1,2,3]	[0.200,0.250,0.333]	[0.200,0.250,0.333]	[0.333,0.500,1.000]	[1,1,1]	[0.000,0.047,0.087]	

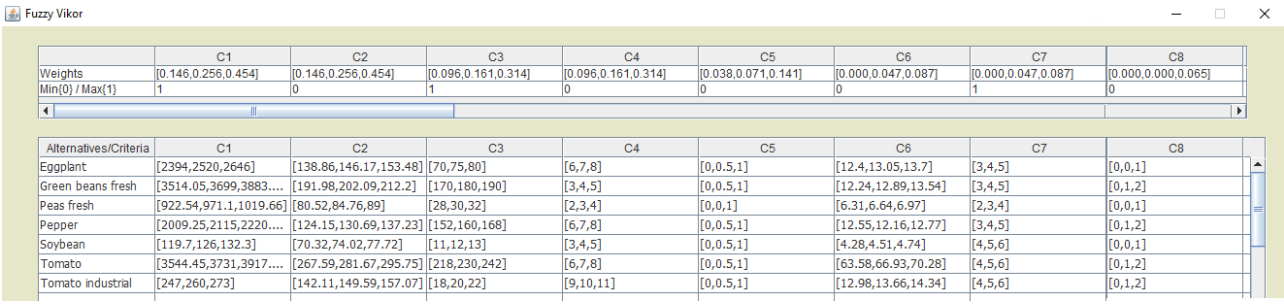
Figure 3. The fuzzy AHP Weight Graph



3.2 Ranking alternatives using fuzzy VIKOR

For the application of the algorithm of FVIKOR on the imported data we constructed the multicriteria analysis model as shown in Figure 4. The indication Min/Max in the second row of the upper table denotes whether the corresponding criterion is to be minimized or to be maximized. The outcomes of FVIKOR consist of the three descending rankings S, R, Q and the suggested compromise solution (table 2).

Figure 4. Ranking alternatives using FVIKOR



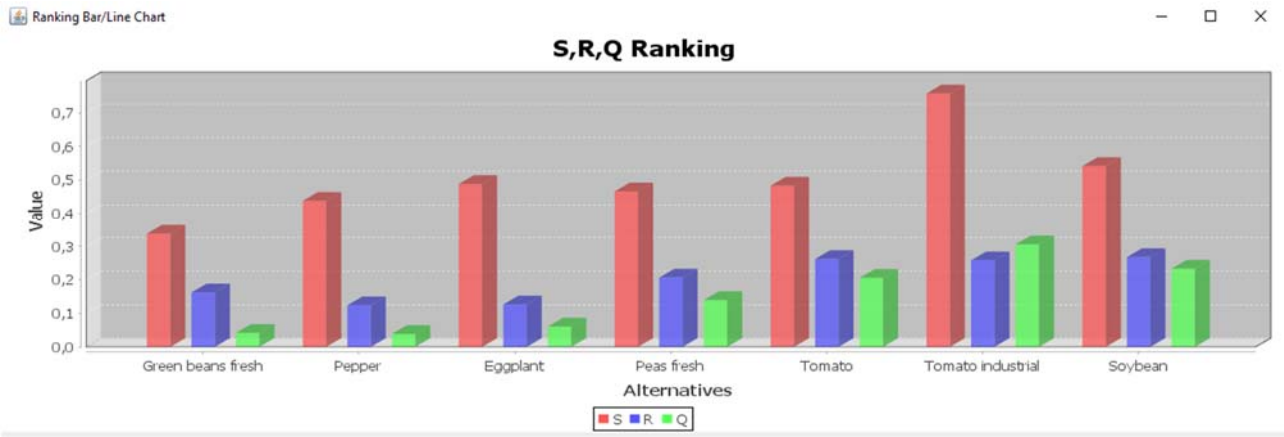
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Weights	[0.146,0.256,0.454]	[0.146,0.256,0.454]	[0.096,0.161,0.314]	[0.096,0.161,0.314]	[0.038,0.071,0.141]	[0.000,0.047,0.087]	[0.000,0.047,0.087]	[0.000,0.000,0.065]
Min{0} / Max{1}	1	0	1	0	0	0	1	0

Alternatives/Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Eggplant	[2394,2520,2646]	[138.86,146.17,153.48]	[70,75,80]	[6,7,8]	[0,0.5,1]	[12.4,13.05,13.7]	[3,4,5]	[0,0,1]
Green beans fresh	[3514.05,3699,3883....	[191.98,202.09,212.2]	[170,180,190]	[3,4,5]	[0,0.5,1]	[12.24,12.89,13.54]	[3,4,5]	[0,1,2]
Peas fresh	[922.54,971.1,1019.66]	[80.52,84.76,89]	[28,30,32]	[2,3,4]	[0,0,1]	[6.31,6.64,6.97]	[2,3,4]	[0,0,1]
Pepper	[2009.25,2115,2220....	[124.15,130.69,137.23]	[152,160,168]	[6,7,8]	[0,0.5,1]	[12.55,12.16,12.77]	[3,4,5]	[0,1,2]
Soybean	[119.7,126,132.3]	[70.32,74.02,77.72]	[11,12,13]	[3,4,5]	[0,0.5,1]	[4.28,4.51,4.74]	[4,5,6]	[0,0,1]
Tomato	[3544.45,3731,3917....	[267.59,281.67,295.75]	[218,230,242]	[6,7,8]	[0,0.5,1]	[63.58,66.93,70.28]	[4,5,6]	[0,1,2]
Tomato industrial	[247,260,273]	[142.11,149.59,157.07]	[18,20,22]	[9,10,11]	[0,0.5,1]	[12.98,13.66,14.34]	[4,5,6]	[0,1,2]

Table 2. FVIKOR S, R, Q rankings and the Compromise solution.

Alternative	S rank	Alternative	R rank	Alternative	Q rank	Compromise solution
Green beans fresh	[0.024,0.254,0.820]	Pepper	[0.051,0.109,0.228]	Pepper	[-0.473,0.036,0.556]	Pepper, Green beans fresh, Eggplant, Peas fresh,
Pepper	[0.085,0.346,0.976]	Eggplant	[0.057,0.108,0.234]	Green beans fresh	[-0.472,0.040,0.560]	
Peas fresh	[0.117,0.363,1.022]	Green beans fresh	[0.074,0.145,0.286]	Eggplant	[-0.455,0.055,0.588]	
Tomato	[0.082,0.387,1.077]	Peas fresh	[0.097,0.186,0.358]	Peas fresh	[-0.411,0.127,0.715]	
Eggplant	[0.115,0.397,1.044]	Tomato industrial	[0.126,0.234,0.439]	Tomato	[-0.396,0.190,0.840]	
Soybean	[0.162,0.449,1.107]	Tomato	[0.123,0.236,0.454]	Soybean	[-0.357,0.220,0.851]	
Tomato industrial	[0.264,0.634,1.496]	Soybean	[0.131,0.243,0.454]	Tomato industrial	[-0.324,0.282,0.984]	

Figure 5. S,R,Q bar chart



4. CONCLUSION

The current financial context enforces agricultural sector to abandon the traditional organizational forms and adopt strategies oriented to the adoption ICT technologies. In this paper, we presented the application of a DSS addressing the spatial tillage allocation problem, aiming to the optimization of productivity and the minimization of the resources consumption. The suggested DSS integrates FAHP and FVIKOR in a collaborative procedure that can suggest the optimal crop choice for a region with specific characteristics. Further enrichment of the constructed multicriteria analysis model with relevant evaluation criteria, can improve the reliability and robustness of the suggested compromised solution. Additionally, the improvement of the quality of input data with data mining techniques, will offer analogous improvement to the stability of DSS performance.

REFERENCES

[1] Administrative Authority of Central Macedonia. (2008). Indicators 2007 for the implementation of the Agricultural Structural Policy. Department of Development, Innovation & Rural Economy, Thessaloniki, Greece.

[2] Ayhan M.B. (2013). A Fuzzy AHP approach for supplier selection problem: a case study in a gearmotor company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains (IJMVSC)*, 4(3), doi:10.5121/ijmvsc.2013.4302.

[3] Chang D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP: Theory and Methodology. European Journal of Operational Research, 95, pp.649-655.

[4] Chou T.-Y., Hsu C.-L., & Chen M.-C. (2008). A fuzzy multi-criteria decision model for international tourist hotels location selection. *International Journal of Hospitality Management*, 27, pp.293-301, doi:10.1016/j.ijhm.2007.07.029.

[5] Kahraman C., Cebeci U., & Ruan D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. Int. J. Production Economics, 87, pp.171-184, doi:10.1016/S0925-5273(03)00099-9.

[6] Kim Y., & Chung E.-S. (2013). Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. Applied Mathematical Modelling, 37, pp.9419–9430, doi:10.1016/j.apm.2013.04.040

[7] Mikhailov L. (2003). Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements. *Fuzzy Sets and Systems*, 134, pp.365–385

[8] Opricovic S., & Tzeng G-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, Vol. 156, pp. 445–455

[9] Opricovic S., & Tzeng G-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European Journal of Operational Research, Vol. 178, pp. 514-529.

[10] Opricovic S. (2011). Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. Expert Systems with Applications, 38(10), pp.12983-12990, doi:10.1016/j.eswa.2011.04.097.

[11] San Cristobal J.R. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in spain: The Vikor method. Renewable Energy, 36(2), pp.498-502.

[12] Sanayei A., Mousavi S.F. & Yazdankhah A. (2010). Group decisionmaking process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications,* 37, pp.24-30, doi:10.1016/j.eswa.2009.04.063.

[13] Tang Y.-C., & Lin T.W. (2011). Application of the fuzzy analytic hierarchy process to the lead-free equipment selection decision. Int. J. Business and Systems Research, 5(1), pp.35-56.

[14] Yazdani M., & Graeml F.R. (2014). VIKOR and its Applications: A State-of-the-Art Survey. International Journal of Strategic Decision Sciences, 5(2), pp.56-83, doi:10.4018/ijsds.2014040105.

[15] Yu P.L. (1973). A class of solutions for group decision problems. Management Science, 19(8), pp.936-946.

[16] Zadeh L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, pp.338-353.

[17] Zadeh L.A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), pp.28-44.

[18] Zeleny M. (1982). Multiple Criteria Decision Making. USA, New York: McGraw-Hill.

[19] Zimmermann H.-J. (2001). *Fuzzy Set Theory-and Its Applications, 4th Edition*. USA, New York: Springer Science+Business Media LLC.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

BULLWHIP EFFECT AND COOPERATIVENESS: DOES SITUATIONAL CONDITIONS MATTER?

BILJANA PANIĆ[1], IVANA KOVAČEVIĆ[2], MIRKO VUJOŠEVIĆ [3]

[1] Faculty of Organizational Sciences, panic.biljana@fon.bg.ac.rs
[2] Faculty of Organizational Sciences, kovacevic.ivana@fon.bg.ac.rs
[3] Faculty of Organizational Sciences, vujosevic.mirko@fon.bg.ac.rs

Abstract: *One of causes of bullwhip effect in supply chains is lack of cooperability as a personality trait. In this paper, the experiment conducted on students simulating beergame will be presented. The results of the experiment showed that the cooperativeness of participants in supply chain could be, at least partially, susceptible to situational conditions due to the fact that it is possible to change them. Participant cooperativeness is determined using a Social Value Orientation questionnaire, applied to classify them into cooperative and uncooperative ones. It was found that allowing cooperativeness during the beergame simulation leads to more cooperativeness and on the other hand, lack of opportunity to cooperate in beergame situation leads to less cooperativeness.*

Keywords: *Supply Chain, Social Value Orientation, Beergame, Cooperativeness.*

1. INTRODUCTION

Lack of information and coordination in the supply chains can cause the bullwhip effect, which implies a distortion of information within the supply chain because different stages in the supply chain have different demand forecasts, so that demand increasingly varies from retailer to manufacturer. Bullwhip effect was first identified by Forrester (1958). Later, the causes of the bullwhip effect were defined as "players' systematic irrational behavior" or as a "misperception of feedback" (Sterman, 1989). Croson et al. (2004) have classified the causes of the bullwhip effect as operational and behavioral. Detailed review of those causes is given in paperworks of Panić et al. (2014) and Panić (2015). Behavioral causes are: coordination risk, distrust, cognitive limitations, underweight the supply line, and personality characteristic. Personality characteristic which causes bullwhip effect are risk taking, ambiguity, self-efficiency, locus of control and cooperability.

Majority of researches proved that collaboration improves performance in the supply chain (Anthony, 2000; Chopra and Meindl, 2001; Nix et al., 2004; Van de Vijver, 2009; Hudnurkar, Jakhar, and Rathod, 2014). As different authors differently define collaboration within this context, we specify collaboration as cooperative strategy of supply chain partners. Nyaga, Whipple, and Lynch (2010) in their endeavors to find factors that promote collaboration, emphasized trust, dependence, long term relationship, information and resource sharing. In one study (Panić, 2015) it is found that the more cooperative participants in supply chain achieve cost reduction. Also, it was shown that it was possible to organize supply chain consisting of more cooperative participants.

The main goal of this study is to prove that it is possible to change cooperability of the participants in the supply chain. In the second section will be explained Social Value Orientation questionnaire (Murphy and Ackermann, 2012), used for classifying participants to cooperative or uncooperative. In the third section will be described beergame, in the fourth will be described experiment and results and in the fifth will be given concluding remarques.

2. SOCIAL VALUE ORIENTATION

Social value orientation (SVO) comes from the domain of the decision-making theory and economics. It studies individual orientation towards social values, explaining how much people care about others in their decisions. The main purpose of SVO is to determine the readiness of the decision-maker to sacrifice their interests for the benefit of others (Murphy and Ackermann, 2012).

Although traditional economy is based on the premise that the decision-maker is a rational being (homo economicus), there is a great deal of examples that contradict this idea that the decision-maker tends to maximize their score expressing indifference toward the results of other participants. Decision-makers have different human qualities, varying from egoism to altruism and caring. When making decisions in a social context, people are often encouraged to take into consideration the impact of their decisions on the other members of the society.

The SVO questionnaire is often used to assess the individual aspect of cooperativeness, (Zeelenberg et al. 2008). The problem of selecting one out of the two warranted money distributions shown in Table 1 is a typical example of measuring SVO. In both cases, the decision-maker gains a certain sum, but the other person, who is unknown and is going to stay unknown to him, also gains a sum of money dependent on his decision. This is not strategic decision-making as it is in the game theory, because the decision-maker is the only one who has control over the payment. The decision is a one-shot and anonymity protects it from the influence of pressure, reciprocity, reputation issues, etc.

Table 1: Money distribution options (Murphy and Ackermann, 2012)

option A	option B
85 $ to decision maker	100 $ to decision maker
85 $ to another person	50 $ to another person

A rationally driven decision-maker would choose option B because it brings him a 15$ higher payoff, although in this case the other person gains 35$ less. Nevertheless, it is confirmed experimentally that option A is preferred in 40% of the cases (Murphy and Ackermann, 2012). This kind of behaviour is called social preference, social motives or social value orientation. The existence of positive social value orientation shows that his own benefit may not be the only criterion for the decision-maker.

Table 2: Social orientations

Self	Other	Orientation	Inferred Motivation	Weight on own outcome	Weight on other's
85	85	Prosocial	Maximize the joint payoff or minimize the difference between payoffs	1	1
100	50	Individualistic	Maximize the payoff to self	1	0
85	15	Competitive	Maximize the positive difference between self and the other's payoff	1	-1
50	0	Sadistic	Minimize the other's payoff	0	-1
15	15	Sadomasochistic	Minimize the joint payoff or minimize the difference between payoffs	-1	-1
0	50	Masochistic	Minimize the payoff to self	-1	0
15	85	Martyr	Maximize the negative difference between the other's and self payoff	-1	-1
50	100	Altruistic	Maximize the other's payoff	0	1

Table 2 shows different possible orientations and motivation of the decision-makers. It is a taxonomy given by Liebrand, which consists of several non-typical orientations that are very rarely present in practice (Liebrand, 1984, according to Murphy and Ackermann, 2012). The majority of decision-makers tend to maximize payoff for themselves (individualists), to maximize the total payoff (prosocial), or at least to maximize discrepancy between payoff for themselves and others (competitive). Sometimes, decision-makers tend to maximize payoff of others (altruists) and that is the reason for applying a subgroup of those orientations (Murphy, Ackermann, and Handgraaf, 2011; Murphy and Ackermann, 2012).

There are different ways to measure social orientation (Murphy and Ackermann, 2012). One approach is to use The Ring Measure, as in this study. This method uses a series of pairs of payoff and estimates the SVO score based on the choices made. It is followed by calculating the angle (degrees), as explained in the work of Murphy and colleagues (Murphy et al. 2011; Murphy and Ackermann, 2012), that determines the SVO orientation of the decision-maker. For example, if the angle were 45 degrees, the person is of prosocial orientation, as shown in Figure 1.

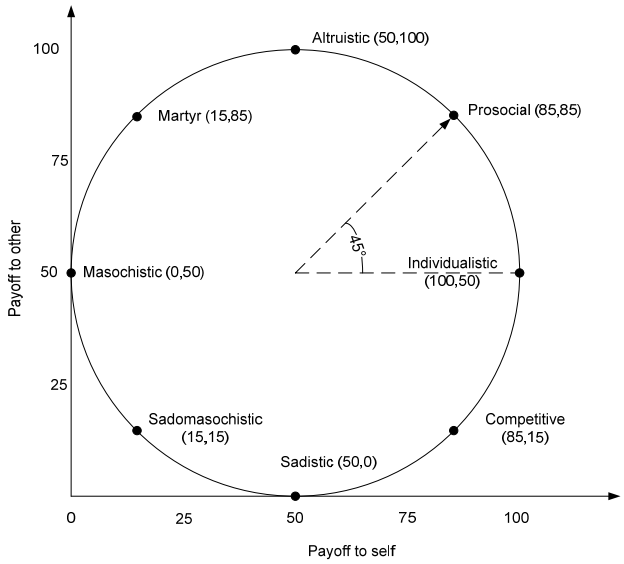


Figure 1: The example of assessing social orientation by The Ring Measure (adapted from Murphy and Ackermann, 2012)

3. BEERGAME

Beer game was created as a part of the research of industrial dynamics in early sixties, by Sloan School of Management in Massachusetts Institute of Technology, to simulate performance of supply chain with one participant in each phase (Sterman, 1992).

Game is built up on the table representing beer manufacturing and distribution. Teams are formed to play game with the objective to minimize the expenses of whole supply chain. The winner is the team that finishes the game with minimal costs. Teams are divided into four sections: Retailer, Wholesaler, Distributor and Factory. Retailer comes to the wholesaler to buy beer. Wholesaler strives to satisfy the retailer's demands from his supplies. Every unsatisfied order remains for subsequent period of time as backlog. Retailer asks from Wholesaler who orders from distributor, who refers to Manufacturer. Two weeks (iterations of simulation) are required for delivery. Game starts from the state that every participant has 12 cases of beer on stock, and initial demand is 4 cases in every phase. In first few weeks, participants learn about mechanisms of fill in the purchase order, creating backlogs and so on, and during that period of time demand is constant – 4 cases weekly. In first three weeks, participants can order only 4 cases per week, which is logical due to the fact that the demand is also 4 cases. At the beginning of the fourth week, participant can obtain unlimited amount of supplies, though it is pointed out that the demand of buyer could vary. One of his tasks is to anticipate the demand and to purchase accordingly. The total duration of the game is 50 weeks of simulation, but the desired effects are evident much earlier.

Two groups (UN, CN) played according to the traditional beer game rule that each participant possesses only local information. Two other groups (UI, CI) were allowed to exchange whatever information they want. Game duration was 23 simulated weeks.

4. THE EXPERIMENTAL PROCEDURE

We simulated functioning of supply chain by playing partly modified beer game. Participants in the supply chain were 21 students of 3th year of Faculty of Organizational Sciences, voluntarily apply to take part in experiment. Firstly, they filled Social Value Orientation (SVO) questionnaire and they were classified into cooperative or uncooperative subsample. Then, both groups were randomly divided into two subgroups, subjected to two situational conditions. Consequently, we got four subsamples consisted from two categories of participants, according to their individual proclivity toward cooperation, submitted to two game rules, considering the interactional (communicational) circumstances. Those groups were:

- Cooperative with information exchange not allowed (CN) – 5 participants
- Uncooperative with information exchange not allowed (UN) – 4 participants
- Cooperative with information exchange allowed (CI) – 5 five participants
- Uncooperative with information exchange allowed (UI) – 7 participants

Each group represented one team who simulate one supply chain according to the established rules. Due to the fact that sample were students, game was renamed into a water supply game.

There was an idea that the participants would be more ready to cooperate after the beergame simulation. In order to verify the hypothesis of possiblity to influence on behavioral change of participants in supply chain, we tested participants before and after the experience of game simulation, by SVO questionnaire.

4.1. Results Of Experiment

Although there was an idea that the participants would be more ready to cooperate after the beergame simulation, results indicate that different groups have different results. Each participant could gain total score between -112.5 and 112.5 degrees on questionnaire. In the Tables 3, 4, 5 and 6 were given results of SVO questionnaire for CN, UN, CI and UI groups respectively.

Table 3: Results of SVO questionnaire for cooperative group with information exchange not allowed

CN	Before		After	
	Degree	SVO	Degree	SVO
1	45.00	Prosocial	35.97	Prosocial
2	5.33	Individualistic	7.40	Individualistic
3	21.68	Individualistic	39.13	Prosocial
4	45.00	Prosocial	22.25	Individualistic
5	82.23	Altruist	45.00	Prosocial
average	39.85		29.95	

Table 4: Results of SVO questionnaire for uncooperative group with information exchange not allowed

UN	Before		After	
1	-7.20	Individualistic	-18.43	Individualistic
2	5.33	Individualistic	5.33	Individualistic
3	-13.42	Individualistic	0.00	Individualistic
4	82.63	Altruist	66.32	Prosocial
average	16.83		13.30	

Table 5: Results of SVO questionnaire for cooperative group with information exchange allowed

CI	Before		After	
	Degree	SVO	Degree	SVO
1	37.57	Prosocial	45.00	Prosocial
2	-37.57	Coompetitive	15.69	Individualistic
3	1.32	Individualistic	14.56	Individualistic
4	35.22	Prosocial	39.97	Prosocial
5	42.18	Prosocial	84.92	Altruist
average	15.74		40.03	

Table 6: Results of SVO questionnaire for uncooperative group with information exchange allowed

UI	Before		After	
1	0.00	Individualistic	29.83	Prosocial
2	0.00	Individualistic	1.82	Individualistic
3	29.85	Prosocial	37.30	Prosocial
4	-7.56	Individualistic	45.00	Prosocial
5	37.49	Prosocial	29.86	Prosocial
6	-64.98	Coompetitive	-7.13	Individualistic
average	-0.87		22.78	

Both groups with information exchange allowed had expected results - the participants became more ready to cooperate after the beergame simulation, but in both groups with information exchange not allowed the participants became even less ready to cooperate. Cooperative group with restriction of information sharing (CN) showed decrease of average cooperability from 39.85 to 29.95 and noncooperative group with no information sharing opportunity (UN) showed decrease of average cooperability from 16.83 to 13.30. Cooperative group with no restriction of information sharing (CI) showed increase of average cooperability from 15.74 to 40.03 and noncooperative group with information sharing opportunity (UI) showed increase of average cooperability from -0.87 to 22.78.

In the Figure 2. are shown cumulative results for all four groups of participants.

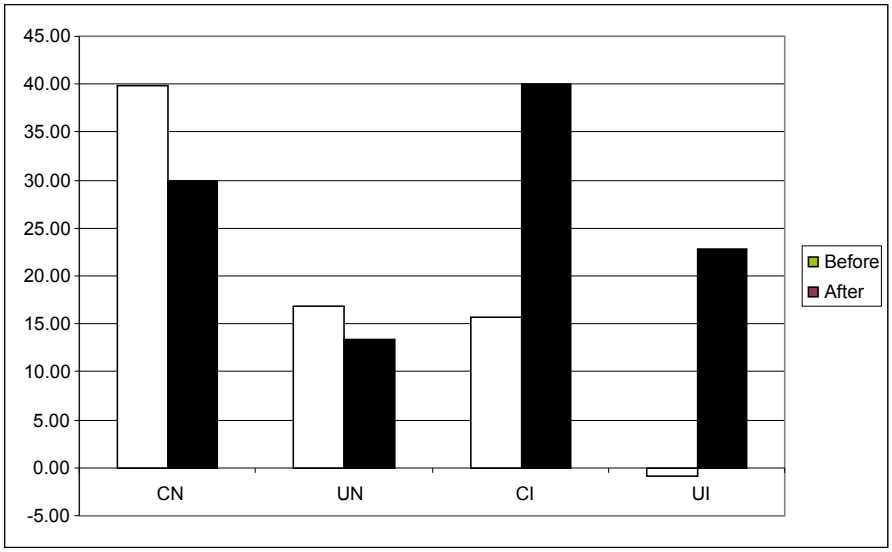


Figure 2: Cumulative results for all four groups of participants

5. CONCLUSION

Significance of cooperativity for successful coordination in supply chain is well known fact. In this study we proved that it is possible to change cooperability of the participants in the supply chain. For that purpose Social Value Orientation questionnaire was applied. Although we expected the overall amplification of the cooperative tendencies after the beergame simulation, it turned out that the results were dependent on conditions in which the game was played. Groups that were given the opportunity to share information enlarged their cooperability, but groups that had no chance to share information were even more reduced their cooperability. There were possibilities that the circumstances in which information were hidden provoke distrust between participants with consequently reducing their willingness to cooperate.

One of the limitations of using beer game simulation is that the results based on individual characteristics of students may not truly capture the behaviour of a company. On the other hand, companies consist of people with their personal characteristics. This paper presents a single experiment with a small sample (21 participants). Therefore, the results are statistically insignificant, but they indicate the need for further analysis with a larger sample. These results give scientific foundation for integrating the elements of personal preference for cooperation and altruistic traits of participants into an equation of effective supply

chain. Nevertheless, there is an idea to continue research in the direction of further explanation of the phenomenon.

REFERENCES

[1] Anthony, T. 2000. "Supply chain collaboration: success in the new internet economy." Accessed January 2014. http://openstorage.gunadarma.ac.id/idkf/idkf-wireless/aplikasi/e-commerce/anthony.pdf.

[2] Chopra, S, Meindl, P. 2001. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and operation, Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey.

[3] Croson, R.T.A., Donohue, K.L., Katok, E., and Sterman, J. 2004. "Order Stability in Supply Chains: Coordination Risk and the Role of Coordination Stock." MIT Sloan Working Paper 4513-04. Accessed January 2014. http://www.utdallas.edu/~emk120030/Order_Stability_0719.pdf

[4] Forrester, J. (1958, July - August). Industrial dynamics, a major breakthrough for decision makers. Harvard Business Review, 36, 37 -66.

[5] Hudnurkar, M., Jakhar, S., and Rathod, U. 2014. "Factors affecting collaboration in supply chain: A literature Review." Procedia - Social and Behavioral Sciences 133: 189–202.

[6] Liebrand, W.B.G. 1984. "The effect of social motives, communication and group-size on behavior in an n-person multi-stage mixed-motive game." European Journal of Social Psychology 14(3): 239-264.

[7] Murphy, R.O., Ackermann, K.A. and Handgraaf, M.J.J. (2011). Measuring Social Value Orientation. Judgment and Decision Making, 6(8), 771-781, Retrieved from http://vlab.ethz.ch/svo/SVO_paper.pdf

[8] Murphy, R.O. and Ackermann, K.A. (2012). A review of social preferences measurement methods. Retrieved from http://vlab.ethz.ch/svo/SVO_paper.pdf

[9] Nix, N., Zachari, Z., Lusch, R., Bridges, W., and Thomas, A. 2004. "Keys to Effective Supply Chain Collaboration." A Special Report from the Collaborative Practices Research Program, The M.J.Neeley School of Business, Texas Christian University, Fort Worth.

[10] Nyaga, G.N., Whipple, J.M., and Lynch, D.F. 2010. "Examining supply chain relationships: Do buyer and supplier perspectives on collaborative relationships differ?" Journal of Operations Management. 28(2): 101–114.

[11] Panić, B., Vujošević, M., Makajić-Nikolić, D. (2014). An Overview of Causes for Bullwhip Effect and Modes of Decreasing their Effect, XIV International Symposium 2014 SYMORG, 1249-1256.

[12] Panić, B. (2015). "Uticaj kooperativnosti na performanse u lancima snabdevanja", phd thesis, Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd.

[13] Sterman, J. (1992). Teaching Takes Off, Flight Simulators for Management Education "The Beer Game", Retreived from: http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html

[14] Sterman, J. (1989). Modelling managerial behaviour: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, Management Science, 35(3), 321 -339.

[15] Van de Vijver, M. 2009. "Collaboration In Buyer-Supplier Relationships." PhD diss., Tilburg University, Accessed January 2013. http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=90480

[16] Zeelenberg, M., Nelissen, R.M.A., Breugelmans, S.M., and Pieters, R. 2008. "On emotion specificity in decision making: Why feeling is for doing." Judgment and Decision Making, 3: 18–27.Strunk, W., Jr., & White, E.B. (2000). The elements of style. (4th ed.). New York: Longman.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRIMENA INTERVALNIH FUZZY-GRUBIH BROJEVA U VIŠEKRITERIJUMSKOM ODLUČIVANJU

APPLICATION OF INTERVAL VALUED FUZZY-ROUGH NUMBERS IN MULTI-CRITERIA DECISION MAKING

DRAGAN PAMUČAR[1], GORAN ĆIROVIĆ[2]

[1] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, dpamucar@gmail.com
[2] Visoka građevinsko-geodetska škola, cirovic@sezampro.rs

Rezime: *U ovom radu prikazan je novi pristup za tretiranje neizvesnosti i nepreciznosti koji je zasnovan na intervalnim fuzzy-grubim brojevima (IFGB). Pokazano je da se integracijom grubih skupova sa tradicionalnim fuzzy pristupom eliminišu subjektivnosti koje postoje prilikom definisanja graničnih vrednosti fuzzy skupova. IFGB omogućavaju donošenje odluka uz korišćenje isključivo internih znanja u podacima i operativniih podataka donosioca odluke. Time se koriste objektivne neodređenosti i nema potrebe za oslanjanjem na modele pretpostavki. U primeni IFGB, umesto različitih spoljnih parametara, koristi se struktura datih podataka.*

Ključne reči: *Grubi brojevi, fuzzy skupovi, neizvesnosti, nepreciznosti.*

Abstract: *This paper presents a new approach for the treatment of uncertainty and imprecision which is based on interval-valued fuzzy-rough numbers (IVFRN). It is shown that by integrating the rough approach with the traditional fuzzy approach, the subjectivity that exists when defining the borders of fuzzy sets is eliminated. IVFRN make decision making possible using only the internal knowledge in the operative data available to the decision makers. In this way objective uncertainties are used and there is no need to rely on models of assumptions. Instead of different external parameters in the application of IVFRN, the structure of the given data is used.*

Keywords: *Rough numbers, fuzzy sets, uncertainty, imprecision.*

1. UVOD

Usled kompleksnosti i neodređenosti brojnih realnih pokazatelja u procesu višekriterijumskog donošenja odluka, kao i zbog pojave nedoumica u ljudskom razmišljanju, javljaju se teškoće u predstavljanju informacija o atributima odluke putem tačnih (preciznih) numeričkih vrednosti. Ove nedoumice i neodređenosti najčešće se eksploatišu primenom intervalnih brojeva (Shuping, 2009), fuzzy skupova (Zadeh, 1965), rough numbers (Zhu et al, 2015), grey teory (Arce et al, 2015) i primenom drugih pristupa. Osnovna ideja primene algoritama za donošenje odluka koji su bazirani na intervalnom pristupu podrazumeva primenu intervalnih brojeva za prezentovanje vrednosti atributa odluke. Međutim, granice intervalnih brojeva je veoma teško odrediti i baziraju se na iskustvu, intuiciji i subjektivnim percepcijama donosioca odluke.

Veliki broj autora za eksploataciju neodređenosti u procesu višekriterijumskog donošenja odluka koristi fuzzy skupove u njihovoj osnovnoj postavci (Zadeh, 1965) ili kroz različite vrste proširenja fuzzy teorije: interval-valued fuzzy sets, intuitionistic fuzzy sets, interval intuitionistic fuzzy sets, hesitate fuzzy sets itd. Iz rasprostranjene primenene različitih formi fuzzy skupova možemo da zaključimo da fuzzy skupovi predstavljaju veoma snažan i često korišćen alat za predstavljanje nepreciznosti. Jedan od nedostataka fuzzy skupova je subjektivizam prilikom definisanja granica fuzzy skupova i funkcija pripadnosti, koji može u značajnoj meri da utiče na konačnu odluku (Pamučar and Ćirović, 2015).

Za razliku od fuzzy teorije, veoma pogodan alat za tretiranje nepreciznosti bez uticaja subjektivizma je teorija grubih (engl. rough) skupova, koju je prvi put predstavio Pavlak (1982). Danas se u literaturi teorija grubih skupova uspešno primenjuje u velikom broju različitih oblasti ljudskog delovanja Pamučar et al (2017). Može se reći da je njihova primena sasvim adekvatna kada se radi o analizi nepreciznosti, neodređenosti i neizvesnosti. Znajući prednosti teorije grubih skupova, danas je u modernoj praksi potpuno

opravdano sprovođenje procesa odlučivanja uz primenu grubih skupova, kada su u njemu uključeni neodređeni i nedostupni podaci.

U procesu donošenja odluka intencija intervalne fuzzy tehnike je transfomacija crisp brojeva u fuzzy brojeve koji pomoću funkcije pripadnosti prikazuju neizvesnosti koje postoje u realnom okruženju. Prema Zadeh (1975) jezički izrazi (jezičke promenjive) mogu veoma uspešno da se koriste za kvantifikaciju neizvesnosti u kompleksnim i neizvesnim situacijama. Ovde se pod jezičkom promenljivom podrazumeva promenljiva čije su vrednosti lingvistički termini koji mogu da se koriste na intuitivno jednostavan način za izražavanje subjektivnosti i/ili kvalitativne nepreciznostu u procenama donosioca odluka. Pored toga, Karnik i Mendel (2001) smatraju da predstavljanje jezičkih izraza pomoću klasičnih fuzzy skupova (fuzzy skupova type-1) nije dovoljno jasno i precizno. Karnik i Mendel (2001) dalje smatraju da je mnogo prirodnije i preciznije predstavljanje lingvističkih izraza primenom interval-valued fuzzy skupova (fuzzy skupova type-2). Interval-valued fuzzy skupovi mogu da obezbede veću fleksibilnost u predstavljanju nepreciznih i nejasnih informacija, a naročito u procesu grupnog donošenja odluka koji karakteriše visok stepen neizvesnosti (Bigand i Colot, 2010). Zato se primena intervalnih (interval-valued) fuzzy skupova u višekriterijumskom odlučivanju (VKO) nameće kao logičan korak sa ciljem da se osigura dovoljno jasno prezentovanje jezičkih izraza od strane donosioca odluka.

Međutim, kao i kod fuzzy skupova type-1 i interval-valued fuzzy skupove karakteriše subjektivizam prilikom definisanja granica skupa i otiska neizvesnosti (Bigand i Colot, 2010). U cilju otklanjanja navedenih subjektivnosti autori u ovom radu predlažu novi pristup koji predstavlja modifikaciju fuzzy skupova primenom grubih brojeva. Intervalni fuzzy-grubi brojevi (IFGB) koriste prednosti obe teorije, fuzzy skupova i grubih skupova (brojeva). Istovremeno, uz korišćenje prednosti oba pristupa (fuzzy i grubi) IFGB otklanjaju nedostatke fuzzy skupova type-1 i interval-valued fuzzy skupova. U IFGB pristupu granice se određuju na osnovu granične aproksimativne obalsti i neizvesnosti koja vlada u njoj. Dok se u tradicionalnoj fuzzy teoriji i teoriji verovatnoće stepen neodređenosti definiše na osnovu pretpostavke, u IFGB pristupu neodređenost se određuje na osnovu aproksimacije koja predstavlja osnovni koncept IFGB. U IFGB pristupu koriste se isključivo interna znanja, odnosno operativni podaci i nema potrebe za oslanjanjem na modele pretpostavki. Drugim rečima, u primeni IFGB, umesto različitih dodatnih/spoljnih parametara, koristi se isključivo struktura datih podataka. Pristup zasnovan na IFGB objedinjava fuzzy i grubi (rough) pristup uvažavajući prednosti oba koncepta.

IFGB pristup koji je predstavljen u ovom radu podrazumeva definisnje početnog referentnog fuzzy skupa kojim se opisuju neizvesnosti u višekriterijumskom odlučivanju (VKO). Nakon definisanja početnog fuzzy skupa, grubim skupovima se mere neodređenosti koje su sadržane u procenama donosioca odluke (DO). Time se dolazi do objektivnih pokazatelja koji su sadržani u podacima. Osnovna logika IFGB je da upravo podaci treba da govore sami za sebe. IFGB eliminišu nedostatke tradicionalnog fuzzy pristupa koji se odnose na granice intervala, pošto se za svaku ocenu/procenu DO formiraju jedinstvene granice intervala. To znači da granice intervala ne zavise od subjektivnih procena već se definišu na osnovu neizvesnosti i nepreciznosti u podacima. U slučaju manjih neizvesnosti IFGB se transformišu u fuzzy skupove type-1, dok se pri većim neodređenostima povećava otisak neizvesnosti i IFGB se transformišu u interval-valued fuzzy skupove sa grubim granicama. U slučaju nesaglasnosti u procenama DO granice intervala IFGB se povećavaju, pošto se povećava neizvesnost u odlučivanju. Sa druge strane, veća saglasnost utiče na manju promenu granica i IFGB se transformišu u tradicionalne fuzzy brojeve. Time se oslikava manja neizvesnost u procenama DO. U slučaju konsenzusa DO granice početnog fuzzy broja se ne menjaju i procene se opisuju jedinstvenim lingvističkim izrazom iz definisane fuzzy skale, odnosno fuzzy skupom tip-1.

U radu je pored osnovnog koncepta IFGB prikazano i predstavljanje nepreciznosti primenom interval-valued fuzzy-rough brojeva.

2. INTERVALNI FUZZY-GRUBI BROJEVI

Definisaćemo fuzzy skup A kao skup uređenih parova $A=\{(x,\mu_A(x))|x\in X, 0\le\mu_A(x)\le 1\}$ i koji je opisan trougaonom funkcijom pripadnosti. Tada fuzzy broj A možemo da predstavimo kao $A=(a_1,a_2,a_3)$, gde a_1 i a_3 respektivno predstavljaju levu i desnu granicu intervala fuzzy broja A, a a_2 predstavlja vrednost u kojoj fuzzy broj A dostiže maksimalnu vrednost.

Pretpostavimo da je U univerzum koji sadrži sve objekte i neka je Y proizvoljan objekat iz U. Pretpostavimo da postoji skup od k klasa koje predstavljaju preferencije DO, $G^*=(A_1,A_2,...,A_k)$, uz uslov da pripadaju nizu koji zadovoljava uslov da je $A_1<A_2<,...,<A_k$. Svi objekti su definisani u univerzumu i povezani sa prefencijama DO. Svaki element A_i ($1\le i\le k$) predstavlja fuzzy broj koji je definisan kao $A_q=(a_{1q},a_{2q},a_{3q})$.

Pošto je element A_i klase objekata G^* predstavljen kao fuzzy broj $A_q = (a_{1q}, a_{2q}, a_{3q})$, za svaku vrednost a_{1q}, a_{2q} i a_{3q} dobijamo po jednu klasu objekata koja je predstavljena u intervalu $I(a_1)_q = \{I(a_1)_{lq}, I(a_1)_{uq}\}$, $I(a_2)_q = \{I(a_2)_{lq}, I(a_2)_{uq}\}$ i $I(a_3)_q = \{I(a_3)_{lq}, I(a_3)_{uq}\}$ gde je zadovoljen uslov da je $I(a_j)_{lq} \le I(a_j)_{uq}$ ($j = 1,2,3;\ 1 \le q \le k$), kao i uslov da je $I(a_1)_q, I(a_2)_q, I(a_3)_q \in G^*$. Tada $I(a_j)_{lq}$ i $I(a_j)_{uq}$ ($j = 1,2,3;\ 1 \le q \le k$)respektivno predstavljaju donju i gornju granicu intervala q-te klase objekata. Ako su obe granice klasa objekata (gornja i donja granica) respektivno poređane tako da je $I^*(a_j)_{l1} < I^*(a_j)_{l2} <,...,< I^*(a_j)_{ls}; I^*(a_j)_{u1} < I^*(a_j)_{u2} <,...,< I^*(a_j)_{um}$ ($j = 1,2,3$; $1 \le s, m \le k$), tada za bilo koju klasu objekata $I^*(a_j)_{lq} \in G^*$ i $I^*(a_j)_{uq} \in G^*$ ($j = 1,2,3$;$1 \le q \le k$) možemo da definišemo donju aproksimaciju $I^*(a_j)_{lq}$ primenom sledećih izraza

$$\underline{Apr}\left(I^*(a_1)_{lq}\right) = \bigcup\left\{Y \in U / G^*(Y) \le I^*(a_1)_{lq}\right\};\ (1 \le q \le k) \tag{1}$$

$$\underline{Apr}\left(I^*(a_2)_{lq}\right) = \bigcup\left\{Y \in U / G^*(Y) \le I^*(a_2)_{lq}\right\};\ (1 \le q \le k) \tag{2}$$

$$\underline{Apr}\left(I^*(a_3)_{lq}\right) = \bigcup\left\{Y \in U / G^*(Y) \le I^*(a_3)_{lq}\right\};\ (1 \le q \le k) \tag{3}$$

i gornje aproksimacije od $I^*(a_j)_{uq}$ primenom sledećih izraza

$$\overline{Apr}\left(I^*(a_1)_{uq}\right) = \bigcup\left\{Y \in U / G^*(Y) \ge I^*(a_1)_{uq}\right\};\ (1 \le q \le k) \tag{4}$$

$$\overline{Apr}\left(I^*(a_2)_{uq}\right) = \bigcup\left\{Y \in U / G^*(Y) \ge I^*(a_2)_{uq}\right\};\ (1 \le q \le k) \tag{5}$$

$$\overline{Apr}\left(I^*(a_3)_{uq}\right) = \bigcup\left\{Y \in U / G^*(Y) \ge I^*(a_3)_{uq}\right\};\ (1 \le q \le k) \tag{6}$$

Obe klase objekata (klasa objekata $I^*(a_j)_{lq}$ i $I^*(a_j)_{uq}$) definisane su svojim donjim granicama (engl. lower limit) $\underline{Lim}\left(I^*(a_j)_{lq}\right)$; $j = 1,2,3$, i gornjim granicama (engl. upper limit) $\overline{Lim}\left(I^*(a_j)_{uq}\right)$; $j = 1,2,3$. Donje granice definišu se narednim izrazima

$$\underline{Lim}\left(I^*(a_1)_{lq}\right) = \frac{1}{M_{L(a_1)}} \sum G^*(Y) \middle| Y \in \underline{Apr}\left(I^*(a_1)_{lq}\right);\ (1 \le q \le k) \tag{7}$$

$$\underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right) = \frac{1}{M_{L(a_2)}} \sum G^*(Y) \middle| Y \in \underline{Apr}\left(I^*(a_2)_{lq}\right);\ (1 \le q \le k) \tag{8}$$

$$\underline{Lim}\left(I^*(a_3)_{lq}\right) = \frac{1}{M_{L(a_3)}} \sum G^*(Y) \middle| Y \in \underline{Apr}\left(I^*(a_3)_{lq}\right);\ (1 \le q \le k) \tag{9}$$

gde $M_{L(a_1)}$, $M_{L(a_2)}$ i $M_{L(a_3)}$ respektivno predstavljaju sumu objekata koji su sadržani u donjoj aproksimaciji klasa objekata $I^*(a_1)_{lq}$, $I^*(a_2)_{lq}$ i $I^*(a_3)_{lq}$. Gornje granice $\overline{Lim}\left(I^*(a_j)_{uq}\right)$; $j = 1,2,3$,definisane su izrazima (10)-(12)

$$\overline{Lim}\left(I^*(a_1)_{uq}\right) = \frac{1}{M_{U(a_1)}} \sum G^*(Y) \middle| Y \in \overline{Apr}\left(I^*(a_1)_{uq}\right);\ (1 \le q \le k) \tag{10}$$

$$\overline{Lim}\left(I^*(a_2)_{uq}\right) = \frac{1}{M_{U(a_2)}} \sum G^*(Y) \middle| Y \in \overline{Apr}\left(I^*(a_2)_{uq}\right);\ (1 \le q \le k) \tag{11}$$

$$\overline{Lim}\left(I^*(a_3)_{uq}\right) = \frac{1}{M_{U(a_3)}} \sum G^*(Y) \middle| Y \in \overline{Apr}\left(I^*(a_3)_{uq}\right);\ (1 \le q \le k) \tag{12}$$

gde $M_{U(a_1)}$, $M_{U(a_2)}$ i $M_{U(a_3)}$ respektivno predstavljaju sumu objekata koji su sadržani u gornjoj aproksimaciji klasa objekata $I^*(a_1)_{uq}$, $I^*(a_2)_{uq}$ i $I^*(a_3)_{uq}$.

Obe granice objekata (lower limit and upper limit) $\underline{Lim}\left(I^*(a_j)_{lq}\right)$ i $\overline{Lim}\left(I^*(a_j)_{uq}\right)$; $j = 1,2,3$ treba da zadovoljavaju uslov da je

$$\underline{Lim}\left(I^*(a_1)_{lq}\right) \le \overline{Lim}\left(I^*(a_1)_{uq}\right) \le \underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right) \le \overline{Lim}\left(I^*(a_2)_{uq}\right) \le \underline{Lim}\left(I^*(a_3)_{lq}\right) \le \overline{Lim}\left(I^*(a_3)_{uq}\right) \tag{13}$$

Ukoliko zbog većih neizvesnosti (nesaglasnosti) u ekpsertskom odlučivanju i karakteristika unapred definisanih fuzzy lingvističkih skala nije ispunjen uslov (13), odnosno da postoji $\overline{Lim}\left(I^*(a_1)_{uq}\right) > \underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right)$ ili $\overline{Lim}\left(I^*(a_2)_{uq}\right) > \underline{Lim}\left(I^*(a_3)_{lq}\right)$, tada važe jednakosti (14) i (15)

$$\overline{Lim}\left(I^*(a_1)_{uq}\right) = \underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right) \tag{14}$$

$$\underline{Lim}\left(I^*(a_3)_{lq}\right) = \overline{Lim}\left(I^*(a_2)_{uq}\right) \tag{15}$$

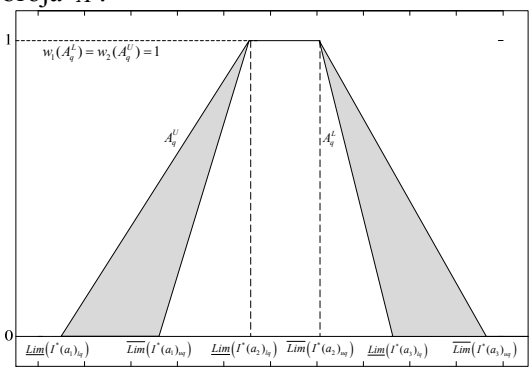
Za svaku klasu objekata možemo da odredimo grubi granični interval (engl. rough boundary interval) od $I(a_1)_q$ predstavlja se kao $RB\left(I(a_j)_q\right)$; $j=1,2,3$, koji označava interval između donje i gornje granice (engl. limit):

$$RB\left(I(a_1)_q\right)=\overline{Lim}\left(I^*(a_1)_{uq}\right)-\underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right);\ \left(j=1,2,3;\ 1\le q\le k\right) \tag{16}$$

Kao što vidimo, svaka klasa objekata $I(a_1)_q$, $I(a_2)_q$ i $I(a_3)_q$ definisana je svojim donjim i gornjim granicama, koje čine intervalni fuzzy-grubi broj $\overline{\overline{A}}$ (engl. interval fuzzy-rough number),slika 1, koji se definiše kao

$$\overline{\overline{A}}=\left[A_q^L,A_q^U\right]=\begin{bmatrix}\left(\overline{Lim}\left(I^*(a_1)_{uq}\right),\underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right),\overline{Lim}\left(I^*(a_2)_{uq}\right),\underline{Lim}\left(I^*(a_3)_{lq}\right);w_1(A_q^L)\right)\\ \left(\underline{Lim}\left(I^*(a_1)_{lq}\right),\underline{Lim}\left(I^*(a_2)_{lq}\right),\overline{Lim}\left(I^*(a_2)_{uq}\right),\overline{Lim}\left(I^*(a_3)_{uq}\right);w_2(A_q^U)\right)\end{bmatrix} \tag{17}$$

gde A_q^L i A_q^U respektivno predstavljaju gornji i donji trapezoidalni fuzzy-grubi broj koji zadovoljava uslov da je $A_q^L\subset A_q^U$, dok $w_1(A_q^L)$ i $w_2(A_q^U)$ respektivno predstavljaju maksimalne vrednostiintervalnog fuzzy-grubog broja $\overline{\overline{A}}$.



Slika 1. Intervalni fuzzy-grubi broj $\overline{\overline{A}}$

Sa slike 1 uočavamo da za interval-valued fuzzy-rough broj $\overline{\overline{A}}$ važi da je $w_1(A_q^L)=w_2(A_q^U)=1$. Na osnovu toga, izraz (17) možemo da napišemo u sledećoj formi

$$\overline{\overline{A}}=\left[A_q^L,A_q^U\right]=\left[\left(a_{1q}^L,a_{1q}^U\right),\left(a_{2q}^L,a_{2q}^U\right),\left(a_{3q}^L,a_{3q}^U\right)\right] \tag{18}$$

gde je $a_{jq}^L=\underline{Lim}\left(I^*(a_j)_{lq}\right)$ i $a_{jq}^U=\overline{Lim}\left(I^*(a_j)_{uq}\right)$; $\left(j=1,2,3;\ 1\le q\le k\right)$.

Ako među DO postoji konsenzus oko dodeljivanja određenih vrednosti iz lingvističke fuzzy skale tada je $a_{1q}^L=a_{1q}^U$, $a_{2q}^L=a_{2q}^U$ i $a_{3q}^L=a_{3q}^U$. Tada interval-valued fuzzy-rough broj $\overline{\overline{A}}$ postaje fuzzy broj A tip-1.

Interval-valued fuzzy-rough broj $\overline{\overline{A}}$ koji je definisan na intervalu $(-\infty,+\infty)$ možemo da predstavimo pomoću izraza (19) i (20)

$$\overline{\overline{A}}=\left\{x,\left[\mu_{A_q^L}(x),\mu_{A_q^U}(x)\right]\right\},\ x\in(-\infty,+\infty),\ \ \mu_{A_q^L}(x),\mu_{A_q^U}(x):(-\infty,+\infty)\to[0,1] \tag{19}$$

$$\mu_{\overline{\overline{A}}}(x)=\left[\mu_{A_q^L}(x),\mu_{A_q^U}(x)\right],\mu_{A_q^L}(x)\le\mu_{A_q^U}(x),\forall x\in(-\infty,+\infty) \tag{20}$$

gde $\mu_{A_q^L}(x)$ i $\mu_{A_q^U}(x)$ predstavljaju stepene pripadnosti gornjoj i donjoj funkciji intervalnog fuzzy-grubog broja $\overline{\overline{A}}$.

2. PREDSTAVLJANJE NEIZVESNOSTI PRIMENOM INTERVALNIH FUZZY-GRUBIH BROJEVA

Na osnovu definicija koje su predstavljene u prethodnom delu, veoma jednostavno možemo da odredimo gornje i donje aproksimacije IFGB.Postupak određivanja IFGB biće objašnjen na primeru vrednovanja alternative A_i po kriterijumu evaluacije C_j. Vrednovanje alternativa izvršilo je pet eksperata. Za vrednovanje su korišćeni trougaoni fuzzy brojevi oblika M=(l,m,u), gde m predstavlja vrednost u kojima funkcija pripadnosti dostiže maksimalnu vrednost, dok l i u predstavljaju levu i desnu granicu fuzzy skupa, respektivno. Fuzzy skala kojom je izvršeno vrednovanje alternative $A_i$predstavljena je vrednostima: Vrlo malo (VL) – (0,1,2); Malo (L) – (1,2,3); Srednje (M) – (2,3,4); Veliko (H) – (3,4,5) i Vrlo veliko (VH) – (4,5,6).Vrednovanja eksperata prikazana su u tabeli 1.

Tabela 1. Ekspertska vrednovanja alternative A_i po kriterijumu evaluacije C_j

Alternativa	Eksperti

	E1	E2	E3	E4	E5
A_i	(2,3,4)	(4,5,6)	(3,4,5)	(2,3,4)	(4,5,6)

Ekspertska vrednovanja u tabeli 1pokazuju da eksperti nemaju jedinstvene stavove oko vrednosti posmatrane alternative po kriterijumu evaluacije.

Pored fuzzy pristupa opisane neizvesnosti mogu da se predstave i IFGB. U sekciji 2, izrazima (1)-(12), definisano je da se IFGB sastoji iz tri grube sekvence. Tako, na osnovu vrednosti iz tabele 1, izdvajamo tri klase objekata *l*,*m* i *u*: $l=\{2;4;3;2;4\}$, $m=\{3;5;4;3;5\}$ i $u=\{4;6;5;4;6\}$. Primenom izraza (1)-(12) formiraju se grube sekvence za svaku klasu objekata*l*,*m* i *u*. Tako za klasu objekata *l* određujemo gornje i donje aproksimacije za svaki objekat:

$\underline{Lim}(2)=2$, $\overline{Lim}(2)=\frac{1}{5}(2+4+3+2+4)=3$;

$\underline{Lim}(3)=\frac{1}{3}(2+3+2)=2.33$, $\overline{Lim}(3)=\frac{1}{3}(4+3+4)=3.67$;

$\underline{Lim}(4)=\frac{1}{5}(2+4+3+2+4)=3$, $\overline{Lim}(4)=4$.

Za drugu klasu objekata *m* dobijamo:

$\underline{Lim}(3)=3$, $\overline{Lim}(3)=\frac{1}{5}(3+5+4+3+5)=4$;

$\underline{Lim}(4)=\frac{1}{3}(3+4+3)=3.33$, $\overline{Lim}(4)=\frac{1}{3}(5+4+5)=4.67$;

$\underline{Lim}(5)=\frac{1}{5}(3+5+4+3+5)=4$, $\overline{Lim}(5)=5$.

Na identičan određujemo gornje i donje aproksimacije za svaki objekat iz klase objekata *u*:

$\underline{Lim}(4)=4$, $\overline{Lim}(4)=\frac{1}{5}(4+6+5+4+6)=5$;

$\underline{Lim}(5)=\frac{1}{3}(4+5+4)=4.33$, $\overline{Lim}(5)=\frac{1}{3}(6+5+6)=5.67$;

$\underline{Lim}(6)=\frac{1}{5}(4+6+5+4+6)=5$, $\overline{Lim}(6)=6$.

Pošto prilikom definisanja gornjih i donjih aproksimacija za $\overline{\overline{A}}(E3)$ nije ispunjen uslov (13) primenjujemo jednakosti (14) i (15). Tako dobijamo interval-valued fuzzy-rough brojeve (17): $\overline{\overline{A}}(E1)=\left[(2,3),(3,4),(4,5)\right]$, $\overline{\overline{A}}(E2)=\left[(3,4),(4,5),(5,6)\right]$, $\overline{\overline{A}}(E3)=\left[(2.33,3.33),(3.33,4.33),(4.33,5.67)\right]$, $\overline{\overline{A}}(E4)=\left[(2,3),(3,4),(4,5)\right]$ i $IRN(E5)=\left[(3,4),(4,5),(5,6)\right]$. Uporedni prikaz ekspertskih vrednovanja primenom crisp, fuzzy i IFGB prikazan je u tabeli 2.

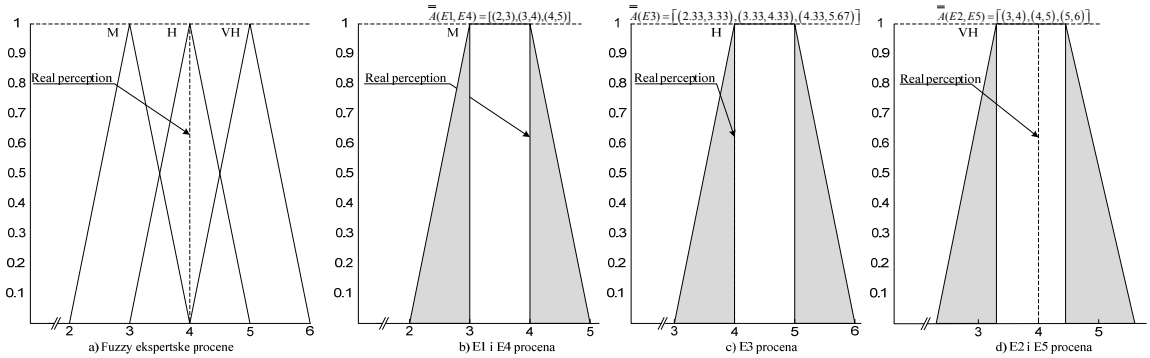
Tabela 2. Ekspetsko vrednovanje crisp, fuzzy i interval-valued fuzzy-rough brojevima

Prikaz vrednovanja	Eksperti				
	E1	E2	E3	E4	E5
Crisp	3	5	4	3	5
Fuzzy brojevi	(2,3,4)	(4,5,6)	(3,4,5)	(2,3,4)	(4,5,6)
IVFRN	[(2,3),(3,4),(4,5)]	[(3,4),(4,5),(5,6)]	[(2.3,3.6),(3.3,4.6),(4.3,5.6)]	[(2,3),(3,4),(4,5)]	[(3,4),(4,5),(5,6)]

Neizvesnosti koje postoje u odlučivanju u primeru iz tabele 1 prikazane su fuzzy konceptom koji podrazumeva fazifikaciju crisp vrednosti 1, 2, 3, 4 i 5. Tradicionalno predstavljanje ekspertske evaluacije iz tabele 1 i 2, primenom crisp vrednosti podrazumeva osrednjavanje ekspertskih vrednovanja. Najčešće se za agregaciju ekspertskih odluka koristi aritmetičko osrednjavanje. Primenom aritmetičkog osrednjavanja ekspertskih vrednovanja iz tabele 1 dobijamo vrednost 4. Crisp ekpsertska vrednovanja nalaze se između 3 i 5, pa intuitivno možemo da zaključimo da "stvarna percepcija" kojoj treba da teže ostali pristupi (fuzzy brojevi i IFGB) treba da ima vrednost 4. Na slici 2"stvarna percepcija" prikazanaje isprekidanom vertikalnom linijom.

Sa slike 2 uočavamo da se "stvarna percepcija" nalazi u sastavu maksimalnih vrednosti sve tri funkcije IVFRN (Slika 2b, 2c i 2d). Sa druge strane kod fuzzy brojeva (Slika 2a) "stvarna percepcija" pripada samo jednom od tri fuzzy broja (fuzzy broj *H*(3,4,5)). Preostala dva fuzzy broja *M*(2,3,4) i *VH*(4,5,6) svojim

funkcijama ne obuhvataju "stvarnu percepciju".



Slika 2.Ekpertska evaluacija – Crisp, fuzzy i IFGB pristup

Na osnovu prikazane analize možemo da zaključimo da IFGB u poređenju sa fuzzy brojevima verodostojnije opisuju percepcije donosioca odluka pošto su mnogo bliže "stvarnim percepcijama".

3. ZAKLJUČAK

Razvoj i primena alata koji na adekvatan način uvažavaju neizvesnosti (fuzzy, rough, grey pristup itd.) predstavlja značajnu oblast u VKO. Pred donosioce odluke postavlja se zahtev za objektivno i nepristrasno odlučivanje uz uvažavanje neizvesnosti i nepreciznosti. Zato korišćenje navedenih alata predstavlja preduslov za objektivno odlučivanje. U ovom radu prikazan je novi za tretiranje neizvesnosti koji se bazira na primeni IFGB. Pristup zasnovan na IFGB predstavlja integraciju grubih brojeva u fuzzy skupove. Integracijom grubih brojeva eliminišu se subjektivnosti koje vladaju prilikom određivanja graničnih vrednosti fuzzy skupova.

Prednosti primene IFGB su brojni. IFGB koriste isključivo interna znanja za prezentovanje graničnih vrednosti atributa odluke. Time se eliminišu subjektivnosti i pretpostavke prilikom definisanja graničnih vrednosti tradicionalnih fuzzy skupova, koje mogu da utiču na vrednosti atributa i konačan izbor alternativa. U primeni IFGB, umesto dodatnih/spoljnih parametara, koristi se isključivo struktura datih podataka. Time se koriste neizvesnosti koje već postoje u podacima što utiče na objektivnost procesa odlučivanja. Još jedna od prednosti ovog pristupa je pogodnost IFGB za primenu na skupovima koje karakteriše mali broj podataka, a za koje tradicionalni statistički modeli nisu pogodni.

LITERATURA

[1] Arce, M.E., Saavedra, A., Míguez, J.L., Granada, E. (2015). The use of grey-based methods in multi-criteria decision analysis for the evaluation of sustainable energy systems: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47, pp. 924–932.

[2] Bigand, A., Colot, O. (2010). Fuzzy filter based on interval-valued fuzzy sets for image filtering. Fuzzy Sets and Systems, 161 (1), 96–117.

[3] Karnik, N.N., Mendel, J.M. (2001). Operations on type-2 fuzzy sets. Fuzzy Sets Systems 122 (2), 327–348.

[4] Pamučar, D., Ćirović,G.: The selection of transport and handling resources in logistics centres using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), Expert Systems with Applications, 2015, 42, pp. 3016- 3028.

[5] Pamučar, D., Mihajlović, M., Obradović, R., Atanasković, P. (2017). Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model, Expert Systems with Applications, 88, pp. 58-80.

[6] Pawlak, Z. (1982). Rough sets. International Journal of Computer & Information Sciences, 11(5), 341–356.

[7] Shuping, W. (2009) Interval multi-attribute decision-making of attitude indicator method, Control and decision making, 24 (1), pp. 35-38.

[8] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets, Information and Control, 8(3), pp. 338-353.

[9] Zhu, G.N., Hu, J., Qi, J., Gu, C.C., Peng, J.H. (2015). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number, Advanced Engineering Informatics, 29, pp. 408–418.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PREPOZNAVANJE OBJEKATA SA SLIKE KORIŠĆENJEM VAJOLA-DŽONS ALGORITMA

OBJECT DETECTION USING VIOLA-JONES ALGORITHM

DUŠAN STEVANOVIĆ[1], IVANA DRAGOVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, dusanstev92@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, ivana.dragovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu opisana je i primenjena metoda detektovanja lica i delova lica sa slika korišćenjem Vajola-Džons (eng. Viola-Jones) algoritma. Rad je baziran na modelu računarskog vizuelnog sistema (eng. Computer Vision Systems), veštačke inteligencije koja se bavi prepoznavanjem dvodimenzionalnih ili trodimenzionalnih predmeta, koristeći logiku pomenutog algoritma. Jednom istreniranoj skripti Kaskadni Klasifikator koja je sastavni deo CVS modela, dodeljuje se multimedijalni sadržaj na prepoznavanje. U ovom radu sadržaj će biti u formi slike, gde će program imati zadatak da prepozna objekte na slikama, izdvaja delove slika u predelu glave, te na svakom otkrivenom licu, odvojeno obeleži predeo oko očiju, nosa i usta.*

Ključne reči: *Prepoznavanje objekata, Viola-Jones algoritam, Computer Vision Systems, Haar-like funkcije*

Abstract: *In this paper it has been described and applied method for detecting face and face parts in images using the Viola-Jones algorithm. The work is based on Computer Vision Systems, artificial intelligence that deals with the recognition of two-dimensional or three-dimensional objects. When Cascade Object Detector script is trained, multimedia content is assigned for recognition. In this work the content will be in the form of an image, where the program will have the task of recognizing the objects in the images, separating the parts of the images in the head area, and on each discovered face, separately mark the area around the eyes, nose and mouth.*

Keywords: *Object detection, Viola-Jones algoritam, Computer Vision Systems, Haar-like features*

1. UVOD

Algoritmi koji se zasnivaju na detektovanju i prepoznavanju određenog paterna, danas imaju široku primenu. Oni nastoje da pruže razumno, a po mogućstvu i tačno rešenje za skup ulaznih parametara, tako što će u datom skupu tražiti najbolje podudaranje očekivanih i datih uzoraka. Takvi algoritmi nalaze široku primenu u današnjem svetu. U medicini, predstavljaju osnovu za računarsku dijagnozu (eng. *Computer-aided diagnosis systems, CAD systems*), često za otkrivanje raka i tumora (Baker, Rosen, Lo, 2003). Uz pomoć računarske dijagnoze, naučnicima i doktorima se olakšava tumačenje i interpretacija rezultata sa slike. Praktična primena je prisutna i u automatskom prepoznavanju govora, pisanog rukopisa, u prepoznavanju saobraćajnih registarskih tablica, otisaka prstiju ili pak lica. Glavni zadatak je pronaći poziciju i veličinu svih objekata/predmeta na slici koji pripadaju uzorku koji se treba detektovati.

Algoritmi za detekciju i prepoznavanje lica se usredsređuju na analizi prednje strane ljudske glave. Najčešća primena prepoznavanja lica je u biometriji, fotografiji, prilikom korišćenja autofokus opcije na aparatu ili kod detektora osmeha (Keller, 2007), marketingu, gde veb kamera ugrađena u televizor detektuje svako lice u blizini. Proračunavanjem raznih parametara koji se tiču pola, starosti, etničke pripadnosti lica koje se analizira, sistem na televiziji pušta precizno segmentiranu vrstu reklama i kampanja. Primer ovakvog sistema je OptimAjs (eng. *OptimEyes*) (Strasburger, 2013).

Dakle, svaki algoritam koji za cilj ima da detektuje lice sa slike, treba da kao povratnu informaciju pruži da li se uopšte na slici nalazi lice i ako je odgovor potvrdan, koja je tačno njegova pozicija. Kako bi dostigao prihvatljive performanse, algoritam bi trebalo da smanji na minimum kako lažno negativne, tako i lažno pozitivne procene. U pitanju su slučajevi kada algoritam ignoriše i ne prepozna pravi objekat sa slike, tj. obrnuto, kada pogrešan objekat prepozna kao pravi. Jedan od algoritama koji se često primenjuje u ovoj oblasti

istraživanja jeste Vajola-Džons algoritam (Viola, Jones, 2001). Ovaj algoritam je funkcionalan u realnom vremenu, što znači da se pored detektovanja, može podesiti i mogućnost da prati lica sa video materijala.

U ovom radu, problem koji će se analizirati jeste detekcija lica sa slika. Čovek ovakav zadatak može uraditi na veoma jednostavan način, ali da bi to isto odradio i računar, neophodno je da raspolaže nizom preciznih i tačnih informacija, formula, metoda i tehnika. Kako bi se maksimizirala preciznost prepoznavanja lica sa slika korišćenjem Vajola-Džons algoritma, poželjno je da objekti na slikama budu u potpunosti licem okrenuti ka uređaju koji ih slika, što će se pokazati kroz eksperimente.

2. TEORIJSKE OSNOVE VAJOLA-DŽONS ALGORITMA

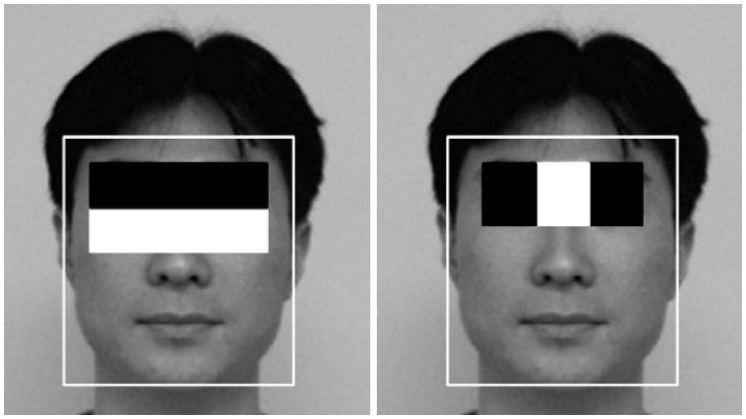
Vajola-Džons je jedan od najranijih algoritama za detekciju objekata sa različitih sadržaja, koji omogućava paralelno otkrivanje objekata u realnom vremenu. Njegovi autori su Pol Vajola i Majkl Džons (eng. *Paul Viola, Michael Jones*). Iako se algoritam kao takav može trenirati za otkrivanje različitih klasa objekata, najveća motivacija autora za njegovo kreiranje se bazirala na detekciji lica. Osobine koje ovaj algoritam čine dobrim za prepoznavanje lica su visoka tačnost prepoznavanja, tj. mali procenat lažno pozitivnih vrednosti. Vajola-Džons algoritam koristi Haar-like funkcije (Viola, Jones, 2001). Haar-like funkcije su zastupljene u svetu digitalnih slika i koriste se za prepoznavanje objekata. Ime su dobile po sličnosti logike koja se zasniva na Haar talasima u matematici (Viola, Jones, 2001). Često se koriste za prepoznavanje objekata u realnom vremenu. Haar funkcije se zasnivaju na sledećim pretpostavkama, a koja se tiču izgleda i oblika ljudskog lica koje je potrebno prepoznati:

- Predeo oko očiju je tamniji od obraza
- Predeo oko nosa i sam nos je svetliji od predela oko očiju,
- Raspored očiju, nosa i ustiju kod objekata je uvek isti
- Lice se posmatra kao skup lokalnih gradijenata merljivih na nivou piksela

Na osnovu ovih pretpostavki, kreirane su Haar-like funkcije. One razmatraju susedne pravougaone regije, na specifičnim lokacijama u oblasti koja se detektuje. Haar-like funkcija sumira intezitete piksela u svakoj regiji i računa razliku između tih suma. Tako dobijena razlika se zatim koristi za kategorizaciju podsekcije na slici do koje se stiglo prilikom rada algoritma za detekciju. Kako je već rečeno da je predeo oko očiju tamniji od obraza, primer jedne Haar-like funkcije za detekciju lica bi se sastojao od seta dve susedne pravougaone regije, tamnije u predelu očiju i svetlije, u predelu oko obraza i nosa.

Matematički gledano, neka *I* predstavlja sliku, a *P* pravougaonu regiju i neka su obe dimenzija *N x N*, tada će Haar-like funkcija pridružena pravougaonoj regiji *P* na slici *I* biti definisana formulom:

$$\sum_{1\le i\le N}\sum_{1\le j\le N} I(i,j)1_{P(i,j)\ bela\ regija} - \sum_{1\le i\le N}\sum_{1\le j\le N} I(i,j)1_{P(i,j)\ crna\ regija} \quad (1)$$



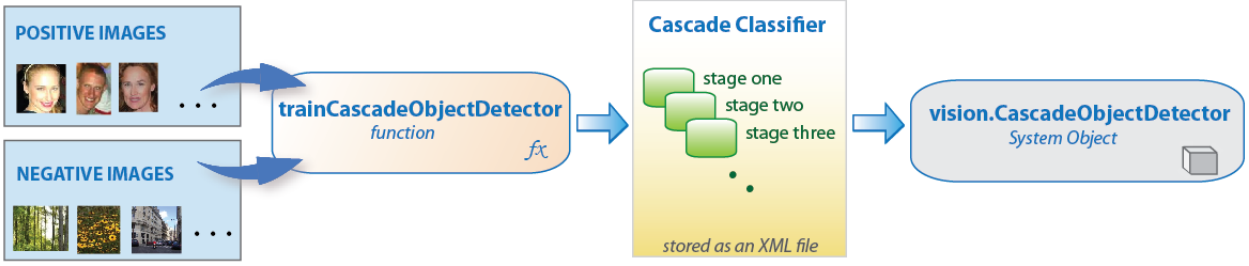
Slika 1. Primer pravougaonih regija

Na slici 2 prikazano je još nekoliko dodatnih pravougaonih regija, a koje se često koriste (Papageorgiou, 1998).

Slika 2. Pravougaone regije koje se koriste prilikom primene Vajola-Džons algoritma

3. IMPLEMENTACIJA ALGORITMA

U Matlabu, skripta koja koristi Vajola-Džons algoritam je Kaskadni klasifikator (eng. *Cascade Object Detector*). Kako bi se omogućila potpuna funkcionalnost i obezbedila što veća preciznost, neophodno je prvo istrenirati skriptu. Za treniranje je obezbeđen skup za treniranje (eng. *dataset*) koji se sastoji od različitih slika sa i bez ljudskih lica na njima, koje možemo imenovati pozitivnim i negativnim slikama. Slike su zatim podeljene u dva skupa: skup za treniranje i skup za validaciju (Lienhart, Kuranov, Pisarevsky, 2003).



Slika 3. Prikaz implementacije algoritma u Matlabu

Funkcionalnost Kaskadnog klasifikatora se realizuje kroz nekoliko etapa. Svaka etapa se trenira koristeći *boosting* metodu. Funkcioniše tako što se na svakoj etapi beleži region koji je definisan trenutnom lokacijom pravougaone regije. Vrednost te regije će se označiti bilo kao pozitivna bilo kao negativna. Pozitivna vrednost znači da je objekat pronađen, dok negativna označava da objekat nije pronađen. Ukoliko je vrednost negativna, klasifikacija na ovom nivou za taj uzorak se završava. Ukoliko je vrednost pozitivna, klasifikator provlači taj region u sledeću etapu. Detektor će proglasiti da je objekat pronađen tek onda kada, u poslednjoj etapi, klasifikator prepozna regiju kao pozitivnu. Prilikom rada klasifikatora, može doći do sledećih situacija – stvarno pozitivna (eng. *true positive*), lažno pozitivna (eng. *false positive*) i lažno negativna situacija (eng. *false negative*). Kako bi se dobilo najbolje rešenje, neophodno je da svaka etapa u lancu, ima što manju lažno negativnu vrednost, jer ukoliko se u uzorku, objekat pogrešno obeleži kao negativan, klasifikacija nad tim uzorkom staje (Ojala, Pietikainen, Maenpaa, 2002).

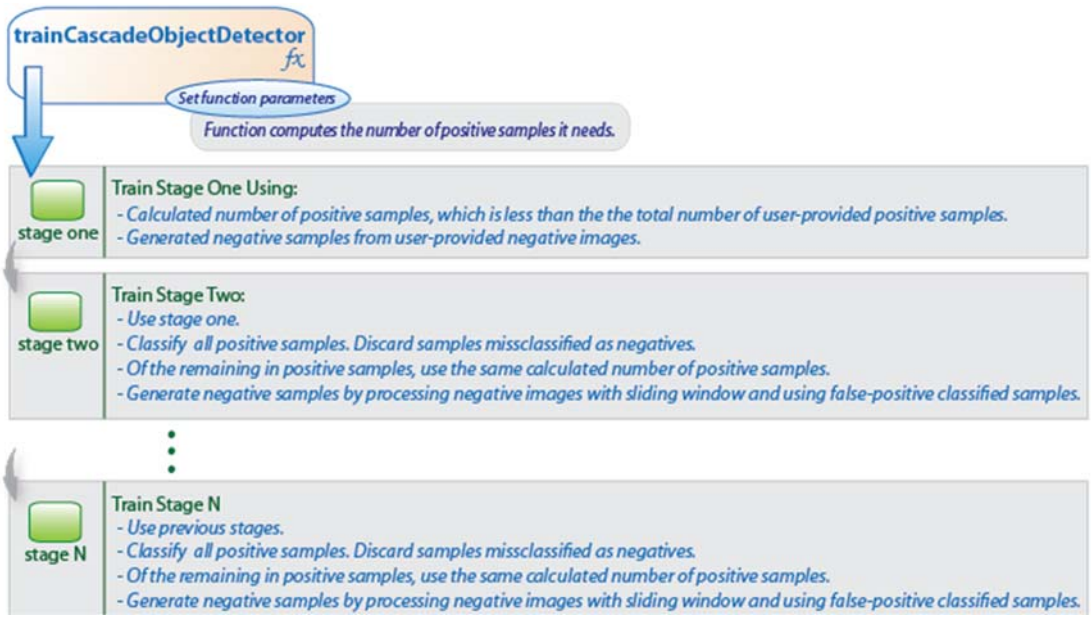
Ukupna lažno pozitivna vrednost Kaskadnog klasifikatora je funkcija:

$$V = f^s, \tag{2}$$

gde f predstavlja lažno pozitivnu vrednost u etapi, dok je s broj etapa. Analogno tome, možemo reći da je ukupna stvarno pozitivna vrednost funkcija:

$$T = t^s, \tag{3}$$

gde je t stvarno pozitivna vrednost u etapi, a s broj etapa. Dodavanje više etapa, smanjuje sveukupnu stvarno pozitivnu vrednost. Trening Kaskadnog klasifikatora je, kao što je već rečeno, obavljen nad skupom pozitivnih i negativnih slika.



Slika 4. Treniranje Kaskadnog klasifikatora kroz etape

Prilikom treniranja Kaskadnog klasifikatora, predlog je držati se sledećih normi:

- veliki skup za treniranje će povećati broj etapa i tako će lažno pozitivna vrednost po etapi biti viša
- kako bi se smanjila mogućnost da se propusti detektovanje objekta, potrebno je povećati stvarno pozitivnu vrednost

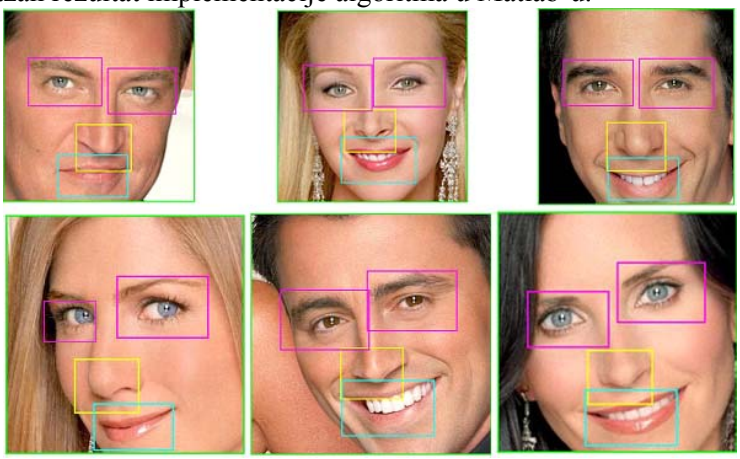
Međutim, treba biti oprezan u ovom slučaju, jer visoka stvarno pozitivna vrednost može da spreči ili otežа pogrešno detektovanje koje je takođe bitno u fazi treniranja (Dalal, Triggs, 2005).

4. PRIKAZ REZULTATA

Za realizaciju algoritma, korišćen je softverski paket Matlab R2016a. Funkcionalnost programa bazirana je na korelaciji između skripti, napisanih u Matlab-u, gde svaka ima svoju glavnu funkciju. Neke od njih, između ostalog su: kreiranjeDetektora.m i DetektovanjeDelovaLica.m. Predefinisana MATLAB-ova funkcija *imread(filename)*, učitava crno-belu ili sliku u boji iz ulaza koji je dodeljen. Povratna vrednost biće vrednost *A*, koja predstavlja niz, koji sadrži informacije o slici. Ukoliko je slika crno-bela, vrednost *A* biće niz *m* x *n*, a sa druge strane, ukoliko je slika u boji, vrednost *A* biće dimenzija *m* x *n* x *3* (Castrillón, Déniz, Guerra, Hernández, 2007). Nakon unesene slike, neophodno je kreirati detektore koji će nad unetom slikom primeniti Kaskadni klasifikator, kako bi se nad unetom slikom, primenila metoda za detektovanje lica i njegovih delova. Na konačnom rezultatu će se pored lica, prepoznati i izdvojiti par očiju, usta i nos. U ovom slučaju, kao opcioni, ali ipak bitan parametar, naveli smo i minimalne dimenzije pravougaonih okvira koje uzimamo u obzir, prilikom kreiranja detektora. To znači da će se Vajola-Džons algoritam primeniti nad slikom unetom kao parametar, kreirajući okvire koji će prolaziti po slici, a dimenzija ne manjih od zadate minimalne vrednosti.

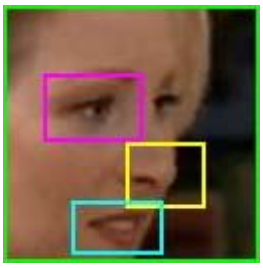
Naravno, ovaj rad je potpuno moguće primeniti za otkrivanje bilo kakvog objekta sa slike, iako se pokazalo da Vajola-Džons algoritam najbolje funkcioniše prilikom prepoznavanja lica. Potrebno je samo obezbediti odgovarajuće skupove slika prilikom treninga Kaskadnog klasifikatora. Detektor je sposoban da otkrije široki opseg objekata, uključujući i gornji deo tela kod testnih osoba. Tip i vrsta objekta koji će se otrkivati, zavisi i kontroliše se od strane svojstva pod nazivom - Klasifikaci model (eng. *Classification Model Option*). Ovo svojstvo omogućuje da se za više puta istreniran Kaskadni klasifikator, izabere vrsta objekta koja je u samom skupu uspešno istreniranih svojstava, a koja se nalaze u ovom modelu (Matlab R2016a Documentation).

Na slici ispod je prikazan rezultat implementacije algoritma u Matlab-u.



Slika 5. Primena Vajola-Džons algoritma na slici sa objektima okrenutim licem ka fotoaparatu

Analogno tome, na slici ispod je primer rada algoritma kada je osoba uslikana iz profila i kada je kvalitet slike slabiji.



Slika 6. Na objektu koji je uslikan iz profila nije prepoznato levo oko

5. ZAKLJUČAK

Kao što se može videti sa slika u prilogu, koristeći Vajola-Džons algoritam, najbolji rezultati se dobijaju od objekata sa slika kod kojih je vidljivo celo lice. Ovaj algoritam za detektovanje i prepoznavanje lica karakteriše činjenica da se za razliku od drugih algoritama gde se vrši skaliranje slike, ovde sva logika preusmerava na funkcije i pravougaone okvire koji će prolaziti kroz sliku, te vršiti detekciju objekata. Algoritam predstavlja dobru metodu za dalji nastavak implementacije, te detektovanje i prepoznavanje objekata u pokretu na video sadržajima. S druge strane, nedostatak Vajola-Džons algoritma može se naći u kvalitetu materijala koji mu se dodeljuju za prepoznavanje. Slike koje su slabijeg kvaliteta, loše osvetljenosti ili gde objekti nisu okrenuti u potpunosti ka fotoaparatu, povećavaju mogućnost da algoritam ne prepozna objekat uopšte ili ga prepozna delimično.

LITERATURA

[1] Baker, J. A.; Rosen, E. L.; Lo, J. Y.; et al. (2003). "Computer-Aided Detection (CAD) in Screening Mammography: Sensitivity of Commercial CAD Systems for Detecting Architectural Distortion". American Journal of Roentgenology. 181: 1083–1088. doi:10.2214/ajr.181.4.1811083

[2] C. Papageorgiou, M. Oren and T. Poggio. A General Framework for Object Detection. International Conference on Computer Vision, 1998

[3] Castrillón Marco, Déniz Oscar, Guerra Cayetano, and Hernández Mario, "ENCARA2: Real-time detection of multiple faces at different resolutions in video streams". In Journal of Visual Communication and Image Representation, 2007

[4] Dalal, N., and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection". IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Volume 1, (2005)

[5] Keller Jeff, "DCRP Review: Canon PowerShot S5 IS". Dcresource.com. Retrieved 2007-07-11

[6] Lienhart R., Kuranov A., and V. Pisarevsky "Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection.", Proceedings of the 25th DAGM Symposium on Pattern Recognition. Magdeburg, Germany, 2003

[7] Matlab Documentation, https://www.mathworks.com/help/vision/ref/vision.cascadeobjectdetector-class.html#bs_hhwg-4

[8] Ojala, T., M. Pietikainen, and T. Maenpaa. "Multiresolution Gray-scale and Rotation Invariant Texture Classification With Local Binary Patterns." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Volume 24, No. 7 July 2002

[9] Paul Strasburger, Tesco face detection sparks needless surveillance panic, Facebook fails with teens, doubts over Google+ Technology, theguardian.com

[10] Viola, Jones: Robust Real-time Object Detection, IJCV 2001 See pages 1,3

[11] Viola, Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", Computer Vision and Pattern Recognition, 2001

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PREDVIĐANJE PRODAJE NAFTNIH DERIVATA KORIŠĆENJEM NEURONSKIH MREŽA

FORECASTING PETROLEUM SALES USING NEURAL NETWORKS

NEVENA VRANIĆ[1], PAVLE MILOŠEVIĆ[2], IVANA DRAGOVIĆ[3], BRATISLAV PETROVIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, nevena.vranic@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, ivana.dragovic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, bratislav.petrovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Predviđanje prodaje predstavlja ključni deo u procesu planiranja. Zbog direktne zavisnosti od potražnje proizvoda ovaj proces je vrlo složen zadatak. Međutim, precizno predviđanje prodaje dovodi do znatnog smanjenja troškova. Predviđanje prodaje naftnih derivata je od velikog značaja za sve kompanije zbog specifičnih uslova skladištenja i samim tim velikih troškova. Za rešavanje ovog problema do sada su korišćene različite metode za predviđanje, neke od njih su: tehnike mašinskog učenja, statističke metode, mišljenje stručnjaka, delfi tehnika, testiranje i analiza potreba potencijalnih korisnika. U ovom radu vršili smo predviđanje prodaje goriva koristeći ARIMA model i NARX neuronsku mrežu. Poredili smo valjanost formiranih modela za dati problem koristeći srednju apsolutnu vrednost greške.*

Ključne reči: *Predviđanje prodaje, ARIMA model, NARX neuronske mreže.*

Abstract: *Sales forecasting is the main part of planning process. Because of dependence on product demand, this process is a very complex task. However, precise forecasting of sales leads to a significant reduction in costs. The forecasting of the sale of petroleum products is of great importance to all companies due to the specific storage conditions and, consequently, the high costs. There are varios methods for sales forcasting that have been used, some of them are: machine learning techniques, statistical methods, experts opinion, dephi techniques, testing and analyzing the needs of potential users. In this paper we present the prediction of fuel sales using ARIMA processes and the NARX neural network. The performance of the formed models are compared using mean absolut error.*

Keywords: *prediction, ARIMA model, NARX neural networks.*

1. UVOD

Ključni deo poslovnog planiranja predstavlja prognoza potražnje proizvoda u okviru određenog vremenskog perioda. Predviđanje prodaje predstavlja složen zadatak zbog velikog broja faktora koji utiču na tražnju. Međutim njegovo precizno predviđanje je od ključnog značaja za upravljanje zalihama i smanjenje troškova zaliha. Problem predviđanja prodaje naročito je bitan kod robe koja zahteva posebne uslove skladištenja kao i kod brzo kvarljive robe.

Varijacije u potrebama potrošača mogu zavisiti od mnogo različitih faktora, kao što su cena, promocija, konkurencija, vremenski uslovi, geografski položaj. Fluktuacije u prodaji na koje utiču godišnja doba, praznici i sezone odmora je često teško predvideti. U većini slučajeva istorijski podaci su vrlo neuravnoteženi, pa je samim posmatranjem podataka teško doći do određenih zaključaka.

Postoje različite metode za predviđanje prodaje koje su do sada korišćene na tržištu: tehnike mašinskog učenja, statističke metode, mišljenje stručnjaka, delfi tehnika, testiranje i analiza potreba potencijalnih korisnika. Thiesing i Middelberg (Thiesing *et al.* 1995) su uspešno primenili neuronske mreže za kratkoročne prognoze prodaje artikala u supermarketu, sa ciljem smanjenja troškova čuvanja proizvoda na zalihama. Za rešavanje ovog problema koristili su višeslojni perceptron, a za proces treniranja korišćen je algoritam sa prostiranjem signala unazad. U okviru rada (Giering 2008) predložen je model za predviđanje prodaje namenjen velikim trgovačkim lancima. Korišćeni su dnevni podaci za 600 proizvoda u okviru radnji. Model je formiran korišćenjem dekompozicije matrice na singularne vrednosti. Iz ekonomske perspektive vidi se veliki i direktno merljiv uticaj primenom ovog modela na realnom tržištu. U radu (Sun *et al.* 2008)

autori su se bavili predviđanjem prodaje proizvoda tekstilne industrije. Pokazalo se da se korišćenjem ekstremne metode mašinskog učenja (eng. *Extreme learning machine* - ELM) dobijaju znatno bolji rezultati, sa manjom greškom predviđanja, nego korišćenjem klasičnih neuronskih mreža sa prostiranjem signala unazad.

U ovom radu analizirali smo problem predviđanja prodaje goriva na mesečnom nivou, u cilju smanjenja troškova skladištenja. Koristili smo bazu podataka koja sadrži podatke o prodaji goriva u prethodnih 85 meseci, na benzinskoj stanici preduzeća Euro Petrol u Beogradu. Analizirali smo vremensku seriju i rešavali problem predviđanja prodaje pomoću ARIMA (eng. *Autoregressive integrated moving average*) modela i NARX (eng. *Nonlinear autoregressive network with exogenous inputs*) neuronske mreže. Izvršena je analiza i poređenje formiranih modela za predviđanje prodaje goriva.

Rad je organizovan tako da su u okviru drugog poglavlja obrađene teorijske osnove ARIMA modela i NARX neuronskih mreža. U trećem poglavlju predstavljen je problem procene prodaje goriva i modeli procene prodaje korišćenjem ARIMA modela i NARX neuronske mreže. U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati primenjenih modela, dok su u petom poglavnju data zaključna razmatranja i predlozi za unapređenje modela.

2. TEORIJSKE OSNOVE

U ovom poglavlju predstavićemo teorijske osnove metoda za predviđanje koje će biti korišćene u ovom radu za problem predviđanja prodaje goriva. Predviđanje prodaje goriva vršeno je statističkim metodama i neuronskom mrežom. Najpre će ukratko biti izloženi osnovni pojmovi ARIMA modela, a zatim NARX neuronske mreže.

2.1. ARIMA model

Autoregresioni integrisani procesi pokretnih proseka, odnosno ARIMA modeli predstavljeni su prvi put od strane Box i Jankings-a (Box and Jenkins 1976).

ARIMA modele čine autoregresioni procesi (AR) koji impliciraju regresiju na sopstvene vrednosti (Kovačić, 1995). Za proces $\{X_t\}$ kažemo da je autoregresioni proces reda *p* ako je:

$$X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \ \dots + \Phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \tag{1}$$

Znači da je tekuća vrednost procesa linearna kombinacija p sopstvenih prošlih vrednosti uvećana za slučajni poremećaj ε_t , pri čemu su$\Phi_1, \dots, \Phi_p$ težinski faktori (Kovačić 1995).

Proces pokretnih proseka (MA) takođe predstavlja sastavni deo ARIMA modela. Za proces $\{X_t\}$ kažemo da je proces pokretnih proseka reda *q* ako je:

$$X_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \cdots - \ \theta_q \varepsilon_{t-q} \tag{2}$$

Opšti autoregresioni proces pokretnih proseka (ARMA(*p,q*)) možemo predstaviti formulom:

$$X_t - \Phi_1 X_{t-1} - \cdots - \Phi_p X_{t-p} = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \cdots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \tag{3}$$

Tako da *p* predstavlja red autoregresionog procesa, dok *q* predstavlja red procesa pokretnih proseka.

Integrisani ARMA model (ARIMA) predstavlja proširenje ARMA modela tako što sadrži i proces diferenciranja, koji ima važnu ulogu u transformaciji podataka kako bi se postigla stacionarnost vremenske serije (Amei *et al.* 2012). ARIMA model možemo predstaviti formulom:

$$\Phi_p(B)(1-B)^d X_t = \theta_0 + \theta_q(B)\varepsilon_t \tag{4}$$

Tako da $(1-B)^d X_t$ predstavlja diferenciranu seriju, a $\Phi_p(B) = 1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \cdots - \Phi_p B^p$ i $Q_q(B) = 1 - Q_1 B - Q_2 B^2 - \cdots - Q_q B^q$ su AR i MA polinomi, reda *p* i *q* respektivno.

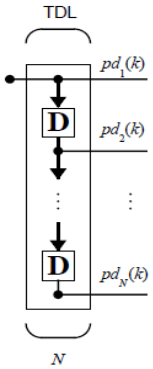
2.2. Neuronske mreže

Veštačka neuronska mreža je sistem koji se sastoji od velikog broja međusobno povezanih, jednostavnih elemenata procesiranja koji rade paralelno, svaki od njih ima lokalnu memoriju u kojoj pamti podatke koje obrađuje (Hagan *et al.* 1996). Funkcija neuronskih mreža je određena strukturom mreže, težinom veza, i obradom u elementima procesiranja (Azam 2000). Elementi (neuroni) su međusobno povezani komunikacionim signalima. Svaki element obrađuje samo svoje lokalne podatke i ulaze koje prima preko

komunikacioh signala. Neuronske mreže omogućavaju inteligentno procesiranje bez prethodno definisanog modela ili algoritma, već na osnovu podataka o ponašanju nekog sistema (Haykin 2001).

Jedna od neuronskih mreža koja se koristi za analizu vremenskih serija jeste NARX mreža. NARX predstavlja nelinearnu autoregeresionu mrežu sa egzogenim ulazima (Menezes *et al.* 2006). Ova mreža predstavlja klasu dinamičkih neuronskih mreža koja je pogodna za modeliranje nelinearnih sistema, posebno vremenskih serija.

NARX neuronska mreža sadrži liniju zakašnjenja (eng. *Tapped Delay Line* - TDL) ili kako je drugačije nazivaju cev. Linija zakašnjenja se koristi kako bi mreža imala informacije i o prošlim vrednostima ulaznih parametara. Linija zakašnjenja prikazana je na slici 1, gde možemo videti kako ulazni signal ulazi sa leve strane, prolazi kroz prošli signal N-1. Izlaz iz linije kašnjenja je N-dimenzionalni vektor, sastavljen od ulaznog signala u datom vremenu i prošlog ulaznog signala (Demuth and Beale 1993).



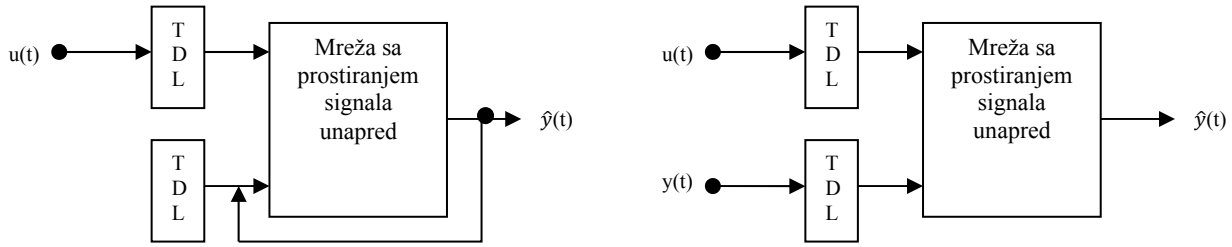
Slika 1: Linija kašnjenja (pruzeto iz Demuth and Beale 1993)

Kako bi predvidela buduće vrednosti određene vremenske serije NARX neuronska mreža koristi prošle vrednosti te vremenske serije kao i prošle vrednosti izlaznog parametra sistema. To znači da sadrži dva ulaza:

- eksterni ulaz;
- povratnu informaciju iz izlaznog parametra sistema.

Za svaki od ovih ulaza potrebno je odrediti kašnjenje, odnosno memoriju za čuvanje prethodnih vrednosti.

NARX predstavlja mrežu sa prostiranjem signala unapred i njenu arhitekturu možemo klasifikovati i kao serijsku i kao paralelno serijsku, što je prikazano na slici 2.



Slika 2: Arhitektura NARX neuronske mreže

Na slici 2 parametar *u(t)* predstavlja prošle egzogene vrednosti vremenske serije, odnosno u našem slučaju broj prodatih litara goriva u prethodnim mesecima. Parametar *y(t)* predstavlja prethodne vrednosti vremenske serije koje je trebalo predvideti, dok parametar $\hat{y}(t)$ predstavlja vrednost koju je sistem predvideo, odnosno u našem slučaju broj litara goriva koji sistem predviđa da će se prodati u toku sledećeg meseca.

U okviru skrivenih slojeva sadrži tangens-sigmoidnu transfer funkciju, dok u izlaznom sloju sadrži lineranu transfer funkciju. Jednačina kojom možemo predstaviti NARX model je (Menezes *et al.* 2006):

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n_y), x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-n_x)) \quad (5)$$

3. PROBLEM PROCENE PRODAJE GORIVA

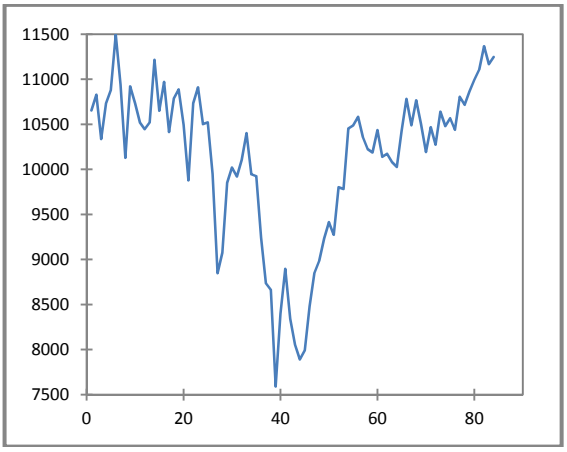
Predviđanje prodaje naftnih derivata je od velikog značaja za sve kompanije zbog specifičnih uslova skladištenja i samim tim velikih troškova skladištenja. U ovom radu bavili smo se problemom predviđanja

prodaje goriva kako bi uspeli da smanjimo visoke troškove skladištenja. Baza podataka je formirana na osnovu realnih podataka jedne od benziskih stanica preduzeća Euro Petrol. Za predviđanja prodaje goriva koristili smo bazu podataka koja sadrži podatke o prodaji goriva iz prethodnih 85 meseci. Na početku smo izvršili analizu vremenske serije i primenili ARIMA model. Zatim smo predviđanje prodaje vršili primenom neuronskih mreža, tačnije NARX neuronske mreže. Kao ulazni podatak u oba modela korišćena je vremenska serija broja prodatih litara goriva na mesečnom nivou, a zadatak sistema je bio da nam kao izlazni podataka da broj prodatih litara goriva koji predviđa za sledeći mesec.

Galoni za čuvanje goriva koje poseduje ova firma su zapremine 9 litara. Iz tog razloga prihvatljivo apsolutno odstupanje pri predviđanju je 9 litara. Time bi se u toku svakog pojedinačnog meseca plaćali troškovi skladištenja samo jednog galona za koji postoji mogućnost da se ne proda u toku tog meseca.

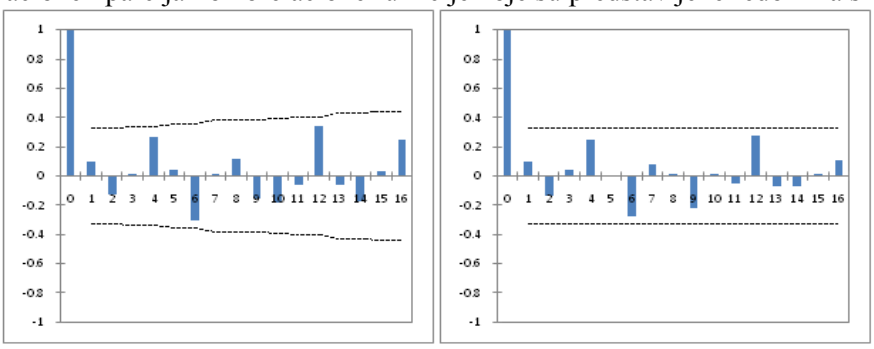
3.1. Primena ARIMA modela

Analizu vremenskih serija i formiranje ARIMA modela izvršili smo u okviru programa EXCEL 2007, korišćenjem dodatka XLSTAT.



Slika 3: Grafik vremenske serije prodatih litara goriva za 85 meseci

Baza podataka korišćena prilikom formiranja modela za predviđanje prodaje goriva sadrži podatke o broju litara goriva na mesečnom nivou, u prethodnih 85 meseci. Sa slike 3, na kojoj je prikazan grafik vremenske serije prodatih litara goriva, je očigledno da prodaja goriva u našem slučaju predstavlja nestacionarnu vremensku seriju, koja takođe sadrži i trend. Nestacionarnost vremenske serije smo potvrdili i primenom *Dickey-Fuller* testa. Kako bi primenili ARIMA model za predviđanje prodaje goriva potrebno je da prvo postignemo stacionarnost podataka, što smo uspeli da uradimo diferenciranjem podataka. Time smo vremensku seriju količina pretvorili u vremensku seriju prinosa. Nakon diferenciranja izvršeno je izračunavanje korelacione i parcijalno korelacione funkcije koje su predstavljene redom na slici 4.



Slika 4: Korelaciona i parcijalno korelaciona funckija

Diferenciranje, korelaciona i parcijalno korelaciona funkcija nam ukazuju da predstavljena vremenska serija prati proces slučajnog hoda, odnosno ARIMA(0,1,0) (Tsay 2010).

Proveru da li predstavljenoj vremenskoj seriji odgovara proces slučajnog hoda izvršili smo pomoću *Ljung-Boxov*-e statistike i *Jarque-Bera* testa. Dobijene vrednosti *Ljung-Boxov*-e statistike ukazuje da na nivou poverenja od 5% tako da prihvatamo nultu hipotezu, odnosno reziduali nisu korelisani. Koristeći *Jarque-Bera* test utvrdili smo da su reziduali normalno raspoređeni, tako da je model ARIMA(0,1,0) odgovarajući za posmatranu vremensku seriju.

Kako smo utvrdili da predstavljena vremenska serija prati model slučajnog hoda, nema smisla vršiti predviđanje pomoću ovog ARIMA modela. Iz tog razloga smo se odlučili da problem predviđanja prodaje goriva izvršimo korišćenjem nekog od nelinearnih modela za predviđanje – neuronskih mreža.

3.2. Primena neuronskih mreža

Za problem predviđanja prodaje goriva u ovom radu, pored analize vremenskih serija, koristili smo NARX neuronsku mrežu. Analizu neuronskih mreža vršili smo u okviru programskog paketa Matlab R2011 (Demuth and Beale 1993).

Bazu podataka smo podelili u razmeri 70:15:15, odnosno podaci o prodaji goriva iz 59 meseci korišćeni su za trening, 13 meseci za validaciju i 13 meseci za testiranje. Formirali smo NARX mrežu, koja sadrži dva ulaza, jedan ulaz je eksterni, tj. predstavlja podatke o prodaji goriva u prethodnim mesecima, a drugi ulaz predstavlja informaciju o izlaznom parametru iz sistema.

Kako bi utvrdili najbolju konfiguraciju NARX mreže, koja daje minimalnu grešku predviđanja prodaje goriva u procesu treniranja, treba odrediti adekvatan broj skrivenih slojeva, funkciju za učenje mreže i kašnjenje oba ulazna parametra. Zadatak skrivenih slojeva je da obrađuju signale dobijene od ulaznog sloja, tako što formiraju osobine i šeme primljenih signala. Vršeno je poređenje tačnosti mreže sa 2, 3 i 4 skrivena sloja. Kako bi uvideli za koju od funkcija za trening mreže neuronska mreža daje najbolje rezultate, poredili smo tri algoritma učenja: TRAINLM (eng. *Levenberg-Marquardt*), TRAINCSG (eng. *Scaled Conjugate Gradient*) i TRAINBR algoritam učenja (eng. *Bayesian regularization backpropagation*). Takođe poređena je tačnost mreže sa vrednostima kašnjenja od 7, 12 i 17.

Nakon formiranja mreže izvršen je proces treniranja. Vreme koje je bilo potrebno za treniranje mreže je 0,1 sekund. Veličine koje se najčešće koriste za prekid treninga su veličina gradijenta i broj validacionih provera. Gradijent predstavlja izvod funkcije u određenom pravcu što nam može pokazati kada se u kojim smerovima kretao proces treniranja. Gradijent se smanjuje kako performanse treninga dostižu minimum. Ukoliko je veličina gradijenta manja od 1e-5 trening mreže će se zaustaviti. U našem slučaju vrednost gradijenta iznosi 2.32e+05. *Mu* je konstanta koja vrši kontrolu promene težinskih koeficijenata pri svakoj iteraciji. U slučaju kada je vrednost ove konstante niska mreža će sporo konvergirati, dok će u suprotnom doći do velikih oscilacija u konačnom rešenju. Vrednost *Mu* nakon procesa treniranja na našem primeru je 1.00e+04.

4. ANALIZA REZULTATA

Na osnovu dobijenih rezultata analizom predstavljene vremenske serije utvrdili smo da ona prati model slučajnog hoda i da zato nema smisla vršiti predviđanje pomoću ovog ARIMA modela. Iz tog razloga smo se odlučili da problem predviđanja prodaje goriva izvršimo korišćenjem nelinearnog modela za predviđanje, NARX neuronske mreže.

Kako bi utvrdili parametre NARX mreže koja daje najmanju grešku predviđanja za predstavljeni problem, izvršilo smo poređenje mreže sa različitim parametrima. Poređenjem mreže sa 2, 3 i 4 skrivena sloja dobili smo da se najmanja greška procene dobija sa mrežom koja sadrži 2 skrivena sloja. Tangens sigmoidna transfer funckija se pokazala kao najbolja transfer funkcija u skrivenim slojevima a u izlaznom sloju najbolje se pokazala linearna transfer funkcija. Poređenjem TRAINLM, TRAINCSG i TRAINBR algoritma za učenje mreže tačnost formiranih mreža se razlikovala za manje od 0,18%. Kao najbolji algoritam pokazao se TRAINLM algoritma, koji podešava vrednosti parametara mreže pomoću Levenberg-Marquardt metode optimizacije. Vrednost kašnjenja ulaznih parametara 7 se pokazao kao najbolji, odnosno najmanja greška predviđanja se dobija kada izlazni parametar zavisi od 7 prethodnih vrednosti koje je sistem predvideo i 7 prethodnih meseci, tj. koliko je litara goriva prodato u prethodnih 7 meseci.

U procesu testiranja poredili smo performanse formiranih modela koristeći srednju apsolutnu vrednost greške (eng. *Mean Absolute Error* - MAE) i procentualnu srednju apsolutnu vrednost greške (eng. *Mean Absolute Percentage Error* - MAPE). MAE je najčešće korišćen indikator za merenje greške predviđanja. U Tabeli 1 prikazano je poređenje tačnosti formiranih modela.

Tabela 1: Uporedni prikaz dobijenih rezultata

	MAE	MAPE
АРИМА model	15.4	0.15%
NARX мреža	9.3	0.09%

Iz navedene tabele možemo zaključiti da se manja vrednost srednje greške od 9,3 dobila kod neuronske mreže a samim tim i manja vrednost MAPE od 0,09%. Nakon što smo utvrdili da predstavljena vremenska serija prati model slučajnog hoda, moglo se znati da će neuronske mreže dati znatno bonje rezultate u predviđanju prodaje goriva u odnosu na ARIMA model. ARIMA model je statistički model koji samo na osnovu prethodnih vrednosti predviđa buduće vrednosti. Neuronska mreža predstavlja nelinearni model koji pored prethodnih vrednosti za predviđanje koristi i prethodne vrednosti koje je model predvideo, što predstavlja njegovu prednost u odnosu na ARIMA model.

Galoni za čuvanje naftnih derivata koje poseduje firma, čiju smo bazu podataka koristili u ovoj analizi, zapremine su 9 litara. Koristeći neuronsku mrežu postignuta je srednja apsolutna vrednost greške od 9,3 što je nedovoljno dobro da bi se u toku svakog meseca plaćali troškovi skladištenja samo jednog galona za koji postoji mogućnost da se ne proda u toku tog meseca. Iz tog razloga u budućem radu potrebno unaprediti performanse sistema tako da srednja apsolutna vrednost greške bude ispod 9.

5. ZAKLJUČAK

Predviđanje prodaje predstavlja ključni deo u procesu planiranja. Zbog direktne zavisnosti od potražnje proizvoda ovaj proces je vrlo složen zadatak i teško ga je predvideti. Međutim precizno predviđanje prodaje dovodi do znatnog smanjenja troškova pa je samim tim vrlo bitna tema svim kompanijama.

U okviru ovog rada bavili smo se problemom predviđanja prodaje goriva u cilju smanjenja troškova skladištenja. Ovaj problem smo rešavali korišćenjem ARIMA modela i neuronskih mreža, tačnije NARX neuronske mreže. Korišćeni su realni podaci o prodaji goriva na benzijskoj stanici u prethodnih 85 meseci. Na osnovu dobijenih rezultata izvršeno je poređenje formiranih modela za predviđanje prodaje goriva na mesečnom nivou.

Statističke metode i neuronske mreže možemo koristiti za predviđanje, ali u konkretnom slučaju predviđanja prodaje goriva bolje rezultate dale su neuronske mreže, odnosno NARX neuronska mreža sa srednjom apsolutnom greškom od 9,3 litara.

Galoni za čuvanje naftnih derivata koje poseduje firma, čiju smo bazu podataka koristili u ovoj analizi, zapremine su 9 litara, tako da je u budućem radu potrebno unaprediti performanse sistema tako da srednja apsolutna vrednost greške bude ispod 9. Glavni nedostatak NARX neuronske mreže je što je moguće koristiti samo jedan eksterni ulaz. U cilju poboljšanja performansi predlažemo korišćenje nekog od nelinearnih modela za predviđanje koji primaju više od jednog ulaza.

LITERATURA

[1] Thiesing, F. M., Middelberg, U., & Vornberg, O. (1995). Parallel Back-propagation for Sales Prediction on Transputer Systems, In Proc. of Proceedings World Transputer Congress' 95 (pp. 1995-318)

[2] Giering, M. (2008). Retail sales prediction and item recommendations using customer demographics at store level. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 10(2), 84-89.

[3] Sun, Z. L., Choi,T. M., Au, K. F. & Yu, Y. (2008). Sales forecasting using extreme learning machine with applications in fashion retailing. Decision Support Systems, 46(1), 411-419.

[4] Box, G. E. P., Jenkins G.M. (1976). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco.

[5] Kovačić, Z. J. (1995). Analiza vremenskih serija, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu.

[6] Amei, A., Fu, W., & Ho,C.H. (2012). Time Series Analysis for Predicting the Occurrences of Large Scale Earthquakes, International Journal of Applied Science and Technology 2(7)

[7] Hagan, M. T., Demuth H. B., Beale M. H., De Jesús O. (1996). Neural network design (Vol. 20). Boston: PWS publishing company.

[8] Azam, F. (2000). Biologically inspired modular neural networks. Ph.D. dissertation. Submitted to Virginia Polytechnic Institute and State University.

[9] Haykin, S. S. (2001). Neural networks: a comprehensive foundation, Tsinghua University Press.

[10] Menezes Jr, J. M. P., & Barreto, G. D. A. (2006). A New Look at Nonliner Time Series Prediction with NARX Recurrent Neural Network. SBRN, 6, 28-33.

[11] Demuth, H., Beale, M. (1993). Neural network toolbox for use with MATLAB.

[12] Tsay, R. S. (2010). Analysis of Financial Time series, 3rd edition, John Wiley and Sons, New York.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

UTICAJ NEDOSTAJUĆIH VREDNOSTI NA KLASIFIKACIJU: PRIMER PREDVIĐANJA BANKROTSTVA SREDNJIH PREDUZEĆA U SRBIJI

INFLUENCE OF MISSING VALUES ON CLASSIFICATION: EXAMPLE OF BANKRUPTCY PREDICTION OF MIDDLE-SIZED COMPANIES IN SERBIA

MARKO TADIĆ[1], MARIJA STAMATOVIĆ[2], PAVLE MILOŠEVIĆ[3], ANA POLEDICA[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, 036tadic@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, marijastamatovic92@gmail.com
[3] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, apoledica@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Cilj ovog rada je ispitati kako i u kojoj meri nedostajuće vrednosti utiču na rezultate klasifikacije kod problema predviđanja bankrotstva srednjih preduzeća u Srbiji. Metode mašinskog učenja poput neuronskih mreža, metode nosećih vektora i Bajesovog klasifikatora korišćene su za klasifikaciju podataka. Klasifikatori su najpre primenjeni na početni, potpun skup podataka, a zatim na isti skup sa unapred određenim procentom nasumično generisanih nedostajućih vrednosti. U slučaju postojanja nedostajućih vrednosti, za popunjavanje skupa podataka korišćene su sledeće metode imputacije: metoda imputacije nulom, metoda imputacije srednjom vrednošću i metoda k-najbližih suseda. Rezultati klasifikacije za navedene klasifikatore u kombinaciji sa datim metodama imputacije su detaljno analizirani i izvedeni su zaključci o najboljoj kombinaciji metoda imputacije i metoda klasifikacije za posmatrani problem.*

Ključne reči: *klasifikacija, nedostajuće vrednosti, metode imputacije podataka, neuronska mreža, metoda nosećih vektora, naivni Bajesov klasifikator*

Abstract: *In this paper, we aim to exemine influence of missing values on classification results on the example of bankruptcy prediction of Serbian middle-sized companies. Machine learning techniques, such as neural networks, support vector machines and naive Bayes classifier, are used for the classification. At first, we apply listed classifiers on the initial data set. Afterwards, the classifiers are applied on the data set with randomly generated missing values. In a case of missing data, we use several imputation methods to fill up the dataset: imputation with zeroes, imputation with mean value and k-nearest neighbor. Obtained results are presented and disscussed in order to determine the best combination of classification and imputation method for the presented problem.*

Keywords: *classification, missing data, missing data imputation, neural network, suport vector machine, naive Bayes classifier*

1. UVOD

Problemi sa nedostajućim vrednostima podrazumevaju slučajeve kad posmatrani skup podataka nije potpun u smislu da nema sačuvane vrednosti za sve atribute/instance. Ovakvi problemi su izuzetno aktuelni, jer se mnoga istraživanja rade nad nepotpunim upitnicima i nepotpunim bazama podataka (Lohr 2010). Prisustvo nedostajućih vrednosti u podacima može imati veliki uticaj na rezultate klasifikacije (Enders 2010). Usled toge, rešavanje ovog problema je od izuzetnog značaja u oblasti mašinskog učenja.

Problemi klasifikacije sa nedostajućim vrednostima se uobičajeno rešavaju na dva načina: redukcijom skupa podataka ili imputacijom pojedinačnih vrednosti. U zavisnosti od konkretnog problema, moguće je izostaviti pojedinačne atribute u datom skupu podataka ili, jednostavno, ukloniti instance u kojima postoje atributi sa nedostajućim vrednostima. To pogotovu ima smisla ako su nedostajuće vrednosti koncentrisane u jednom atributu/instanci (Enders 2010). Međutim, veliki nedostatak metoda redukcije je što se dimenzije skupa podataka mogu značajno smanjiti. Takođe, na ovaj način može doći do isključenja instance koja je značajna za dalju analizu podataka.

S druge strane, metode imputacije podataka podrazumevaju da se pojedanačne nedostajuće vrednosti popune predloženim vrednostima (Enders 2010). Najveći broj metoda za imputaciju podataka je zasnovana

na statistici. Među njima, najviše korišćene su: imputacije srednjom vrednošću, imputacija vrednosti na osnovu ocene maksimalne verodostojnosti (Little and Schluchter 1985), LASSO metoda (Tibshirani 1996), itd. Drugi pristup ovom problemu zasnovan je na izračunavanju sličnosti sa postojećim podacima, poput metoda egzemplara, *k*-najbližih suseda, itd. Takođe, nedostajuće vrednosti se mogu popuniti i nulama, što predstavlja najjednostavniji, ali često nedovoljno precizan način za rešavanje ovog problema (Papakostas *et al.* 2013). Glavni nedostatak većine ovih metoda je ocenjivanje parametara na osnovu raspodela atributa, odnosno unošenje pristrasnosti pred kasnije odlučivanje (Donders and Rogier 2006, Little and Rubin 2010). I pored toga, metode imputacije predstavljaju konvencionalan način za rešavanje ovakvih problema.

U ovom radu cilj je ispitati da li i u kojoj meri nedostajuće vrednosti i odabrana metoda imputacije utiču na rezultate klasifikacije srpskih preduzeća na aktivne i u stečaju. Nad postojećim, realnim skupom podataka primenjene su tri metode klasifikacije: neuronske mreže – biološki inspirisan klasifikator koji se smatra univerzalnim aproksimatorom (Haykin 2009); metode nosećih vektora – metoda mašinskog učenja za binarnu klasifikaciju koja nije zasnovana na verovatnoći (Suykens and Vandewalle 1999); kao i Bajesov klasifikator – kao predstavnik statističkih metoda (Zhang and Ling 2001). U prvom koraku je izvršena klasifikacija srpskih kompanija na aktivne i bankrotirale kompanije primenom sva tri navedena klasifikatora. U korišćenom skupu podataka nije bilo nedostajućih vrednosti. Zatim su u datom skupu podataka nasumično generisani određeni procenti nedostajućih vrednosti, a nakon toga su nedostajuće vrednosti popunjene primenom odabranih metoda imputacije podataka: imputacija podataka nulom, imputacije podataka srednjom vrednošću i imputacija metodom *k*-najbližih suseda. Nad novim skupovima podataka ponovo je izvršena klasifikacija i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim u prvom koraku eksperimenta sa ciljem određivanja najbolje kombinacije metode imputacije i metode klasifikacije za konkretan problem.

Ovaj rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju dat je kratak pregled osnovnih metoda klasifikacije i imputacije koje su korišćene u ovom radu. U trećem poglavlju detaljno je opisana postavka eksperimenta. Dalje, prikazani su rezultati klasifikacija i data su tumačenja dobijenih rezultata. Na kraju rada navedeni su najbitniji zaključci i predlozi za budući rad i istraživanje.

2. METODE

U ovom poglavlju dat je kratak pregled ključnih teorijskih koncepata neposredno vezanih za sprovedeno istraživanje. Definisani su pojmovi klasifikacije i imputacije podataka i dato je objašnjenje metoda klasifikacije i imputacije koje su korišćene u eksperimentu.

Metode klasifikacije

Klasifikacija predstavlja svrstavanje posmatranog objekta u jednu klasu iz predefinisanog skup. Ovaj proces je jedan od najčešćih zadataka koji se javlja prilikom donošenja odluka, kako ljudi, tako i mašina. Prilikom rešavanja problema klasifikacije istovremeno se zahteva i tačnost i razumevanje razloga za donošenje neke odluke (Koloseni 2015). U terminologiji istraživanja podataka, klasifikacija predstavlja vid nadgledanog učenja, odnosno učenja gde postoji trening skup čiji su primerci ispravno identifikovani (Mitchell 1996). Skup podataka nad kojim treba izvrsiti klasifikaciju se sastoji od niza instanci opisanih skupom vrednosti odgovarajućih atributa. Cilj mnogih naučnih radova je pronaći klasifikator koji na osnovu podataka za učenje, sa najvećom tačnošću, preslikava svaku instancu u neku od predefinisanih klasa. Određivanje tačnosti modela vrši se na osnovu podataka za testiranje pri čemu se koriste odabrane mere performansi klasifikatora (npr. tačnost, preciznost, odziv, f-mera, specifičnost) (Pang-Ning Tan *et al.* 2007).

Veštačke neuronske mreže predstavljaju računarske „ćelijske“ sisteme koji mogu da stiču, čuvaju i koriste iskustveno znanje (Zurada 1992). Stoga možemo reći da su neuronske mreže algoritam inspirisan biološkim nervnim sistemom. One predstavljaju jednu od metoda veštačke inteligencije, gde njihova fleksibilnost omogućava primenu kako za predviđanje tako i za klasifikaciju u najrazličitijim oblastima. Neuronska mreža se sastoji od niza međusobno povezanih procesorskih jedinica koje nazivamo veštačkim neuronima. Pojedinačni neuroni su povezani komunikacionim kanalima, tako da rade paralelno i na taj način obavljaju složene zadatke, što je i osnovna ideja ovog metoda veštačke inteligencije. Svaki od neurona ima svoju lokalnu memoriju u kojoj pamti podatke koji se obrađuju (Haykin 2009). Veštačke neuronske mreže, isto kao i ljudski mozak, znanje stiču kroz proces učenja, a za memorisanje znanja koriste se težine međuneuronskih veza. Proces učenja (obučavanja) neuronske mreže se izvršava iterativno podešavanjem pondera (težinskih faktora) veza između elemenata. Ove težine, pomnožene sa odgovarajućim ulaznim vrednostima propuštaju se kroz prenosnu funkciju i na taj način se dobija izlaz iz neurona.

Procesorske jedinice u jednoj neuronskoj mreži su jednostavne i mogu obavljati samo jednu ili eventualno nekoliko računarskih operacija i međusobno su povezane tako da u jednoj neuronskoj mreži postoji mnogo

više veza nego procesorskih jedinica. Snagu neuronske mreže čini broj veza između neurona, dok je funkcija veštačke neuronske mreže određena strukturom mreže, težinom veza i obradom u elementima procesiranja. Kod mreže sa više slojeva obično svaki sloj prima ulaze iz prethodnog sloja i svoje izlaze šalje narednom sloju, gde na poslednjem dobijamo konačne rezultate obrade. Kad se obučavanje završi težinski koeficijenti ostaju isti i neuronska mreža se može koristiti za predviđeni zadatak. Umesto što konceptualizuju problem u matematičkoj formi, neuronske mreže koriste principe ljudskog mozga i njegove strukture, kako bi razvile strategiju procesiranja podataka (Hagan *et al.* 1996).

Postoji veliki broj algoritama za obučavanje neuronske mreže, od kojih je najčešće korišćen algoritam prostiranja signala u nazad (eng. *back-propagation*). Kod ovog tipa algoritma izračunavanje greške, odnosno razlike između izlaza i ciljane vrednosti, počinje od izlaznog sloja i prosleđuje se unazad kroz sistem neurona. Pri ovom postupku dolazi do proporcionalnih promena vrednosti težinskih koeficijenata koji se mogu povećavati ili smanjivati u zavisnosti od pravca greške.

Glavne karakteristike koje čine neuronske mreže vrednim i atraktivnim za predviđanje bi bile njihova prilagodljivost problemu, gde pri rešavanju istog one menjaju svoju strukturu u zavisnosti od internih i eksternih informacija. Zatim, neuronske mreže su nelinearne, imaju veliku sposobnost generalizacije i mogu se smatrati univerzalnim funkcionalnim aproksimatorom.

Metoda nosećih vektora (eng. *Support Vector Machines* - SVM) spada u klasu metoda nadgledanog mašinskog učenja i uspešno se primenjuju u rešavanju mnogih problema klasifikacije i regresije (Vapnik 1995). Metod je razvijen na osnovu jednostavnog pristupa: klasifikator maksimalnom marginom (eng. *Maximal Margin Classifier* - MMC). Cilj MMC-a je da se u vektorskom prostoru u kom su predstavljeni podaci, pronađe optimalna razdvajajuća hiper-ravan, tako da svi podaci iz date klase budu sa iste strane ravni. Upravo to je zadatak trening faze ovog klasifikatora. Optimalna hiper-ravan je ona ravan koja ima maksimalnu marginu, odnosno maksimalno rastojanje od podataka za trening (Huang 2004). Razdvajajuća hiper-ravan je potpuno određena podskupom podataka za trening koje se nazivaju podržavajući-potporni ili noseći vektori, po čemu je ova metoda i dobila ime. U test fazi, klasifikacija se obavlja na osnovu jednačine optimalne hiper-ravni, pri čemu izlaznu klasu određuje rastojanje od hiper-ravni. Drugim rečima, klasifikacija nove instance se izvršava na osnovu skalarnog proizvod datog koeficijenta i nosećeg vektora.

Metoda nosećih vektora je naročito pogodna za rešavanje problema u kojima su podaci linearno razdvojivi. Ova metoda uživa veliku popularnost u ovoj oblasti zbog veoma dobrih rezultata koji su slični ili bolji od onih koji se dobijaju primenom neuronskih mreža (Čabarkapa *et al.* 2008). Zbog svoje prirode, SVM se može koristiti za rešavanje samo binarnih klasifikacionih problema. Međutim, SVM je nasla primenu i za rešavanje višeklasnih problema, ukoliko se nekom metodom redukcije svedu na binarne probleme.

Naivni Bajes ili Bajesov klasifikator (eng. *Naive Bayes*) prema definiciji predstavlja jednostavan probabilistički klasifikator koji se temelji na primeni Bajesove teoreme (Zhang and Ling 2001). Ovaj klasifikator spada u metode nadgledanog učenja. Možemo smatrati da objekat pripada nekoj klasi ako ima određene atribute, uz pretpostavku da su ti atributi nezavisni. Zbog toga se uvode dve „naivne“ pretpostavke nad atributima: a) svi atributi su a priori podjednako važni; b) svi atributi su statistički nezavisni, tj. vrednost jednog atributa nam ne govori ništa o vrednosti drugog atributa. Ovaj algoritam se naziva „naivnim“ jer ove pretopstavke uglavnom nisu tačne, ali u praksi se dobijaju dobri rezultati kod niskodimenzionalnih problema. Prilikom upotrebe ovog klasifikatora, često je potrebno prvo izvršiti predprocesiranje podataka, sa ciljem redukcije visokokorelisanih atributa.

Metode imputacije podataka

Metode imputacije ili popunjavanja podataka podrazumevaju zamenu nedostajućih podataka izabranim vrednostima iz nekog sličnog kompletnog uzorka, pri čemu odabrani način izbora dovodi do potrebnih varijacija rekonstruisanih vrednosti (Lohr 2010). Izbor reprezentativnog skupa i identifiikacije odgovarajućih vrednosti koje će se koristiti u zameni proizvodeći najmanju varijansu predstavljaju osnovini problem korišćenja ovih metoda.

Prilikom primene **metode imputacija podataka nulom** u posmatranom skupu podataka koji se koristi za klasifikaciju, nedostajuće vrednosti se menjaju nulom (Papakostas *et al.* 2013). Prednost ove metode leži u jednostavnosti primene. S druge strane, klasifikatori nule doživljavaju kao vrednosti atributa, pa one mogu imati značajan uticaj na rezultate klasifikacije. To ukazuje na činjenicu da ovo često nije najbolji način za imputaciju podataka sa aspekta tačnosti.

Imputacija podataka srednjom vrednošću je jedan od najkorišćenih algoritama za imputaciju podataka. Zasniva se na zameni nepoznate vrednosti nekog atributa srednjom vrednošću tog atributa za ceo skup podataka. Imputacija srednjom vrednošću može rezultirati nepristrasnim predviđanjem nedostajućih podataka, ali i lošim ocenama varijansi i korelacija sa drugim varijablama (Lohr 2010, Van Bureen 2012).

Pored toga, ona u slučaju većeg procenta nedostajućih vrednosti reaguje većom pristrasnošću, precenjivanjem standardnih grešaka i gubitkom moći (Schlomer *et al.* 2010). Stoga, ona je najčešće korišćena ako u skupu podataka nema mnogo nedostajućih vrednosti. Dalje, ova metoda se uspešno može kombinovati sa metodama redukcije u slučaju da skup podataka ima izuzetno mnogo nedostajućih vrednosti.

Metoda *k*-najbližih suseda (eng. *k-nearest neighbor* - *k*NN) je jedan od najkorišćenijih algoritama za klasifikaciju. Razlog za to je pre svega njena jednostavnost, ali i to što je dugo prisutna u nauci. Ovaj klasifikator pretražuje skup podataka za trening i traži najsličniju instancu posmatranom egzemplaru. Za merenje sličnosti egzemplara sa instancama za trening najčešće se koriste metrike, među kojima se izdvajaju Euklidsko (suma razlike kavadrata) i Menhetn (suma apsolutnih razlika) odstojanje. *k*NN metoda se koristi i za imputaciju podataka tako što se nedostajućim vrednostima posmatrane instance pripisuju vrednosti instance koja joj je najsličnija. Sličnost se definiše kao „blizina“ pomoću funkcije rastojanja koja koristi ostale, poznate, vrednosti atributa.

3. EKSPERIMENT

U eksperimentu je razmatran problem klasifikacije kompanija na aktivne i kompanije koje su u stečaju, na osnovu podataka iz njihovih finansijskih izveštaja. Za istraživanje je korišćen balansiran uzorak iz nasumično odabran iz baze podataka kompanije „CUBE Risk Management Solutions“ koja sadrži finansijske podatke o srednjim preduzećima iz Srbije. Uzeto je u obzir 36 aktivnih i 36 kompanija koje su u stečaju. Na osnovu finansijskih izveštaja izračunata su finansijska racija korišćena za Altmanov *Z*-score modela (Altman 1968), koji je jedan od najjednostavnijih i najčešće korišćenih modela za predviđanje bankrotstva preduzeća. Stoga, skup podataka korišćen u ovom istraživanju se sastoje od 72 instance opisane sa 5 atributa izabranih na osnovu *Z*-skor modela:

- Neto obrtna sredstva / Ukupna aktiva,
- Neraspoređena dobit / Ukupna aktiva,
- Dobit pre isplate kamate / Ukupna aktiva,
- Tržišna vrednost sopstvenog kapitala / Knjigovodstvena vrednost ukupnih obaveza,
- Prihod od prodaje / Ukupna aktiva.

Izlaz ovog klasifikacionog modela je 1, u slučaju da je preduzeće bankrotiralo, ili 0, u slučaju da je preduzeće i dalje aktivno. Uzorak je balansiran kako bi se eliminisala eventualna pristrasnost različitih klasifikatora i ne sadrži nedostajuće vrednosti.

U prvom koraku eksperimenta izvršena je klasifikacija posmatranih instanci. Za klasifikaciju su korišćene tri metode: SVM, Bajesov klasifikator i neuronska mreža. Sva tri klasifikatora implementirana su u programskom jeziku MATLAB. Za generisanje SVM klasifikatora korišćeno je RBF jezgro, odnosno Gausova funkcija sa faktorom 1. Upotreba RBF jezgra se preporučuje kad je broj primera za klasifikaciju veći od broja atributa, zbog toga što je u slučaju male dimenzije porstora veća verovatnoća da su podaci linearno nerazdvojivi. RBF mapira ulazni prostor u prostor sa više dimenzija, pa je i verovatnoća linearnog razdvajanja veća. Dalje, korišćena je nerekurentna neuronska mreža, sa jednim skrivenim slojem koji se sastoji od 10 neurona i koja za učenje koristi algoritam propaginacije unazad.

Kako bi se izbegla pristrasnost, odnosno uticaj izabranih skupova za učenje i trening na rezultate klasifikacije, korišćena je unakrsna validacija sa jednim izdvojenim elementom. Ova metoda validacije je pogodna za ovaj problem pre svega zbog malog broja instanci u uzorku. Za ocenu uspešnosti navedenih metoda klasifikacije korišćene su dve uobičajene mere performansi klasifikatora – tačnost i preciznost. Rezultati dobijeni u ovom koraku predstavljaju referentnu vrednost sa kojom poredimo rezultate dobijene korišćenjem navedenih klasifikatora nad podacima koji sadrže unapred određen procenat nedostajućih vrednosti.

Nakon dobijenih rezultata za sva tri klasifikatora, nasumično je generisan određeni procenat nedostajućih vrednosti u skupu podataka (3%, 5%, 10% i 20%), a zatim su metodama imputacije nedostajuće vrednosti zamenjene drugim vrednostima: nulom, srednjom vrednošću tog atributa ili vrednošću atributa koju ima instancin najbliži sused. Navedeni klasifikatori primenjeni su na nove skupove podataka, pri čemu su rezultati klasifikacije su prikazani u Tabeli 1. Pošto nije bilo značajne razlike u rezultatima za uzorke koji su sadržali 3% i 5% nedostajućih vrednosti, rezultati za skup podataka sa 3% nedostajućih vrednosti su izostavljeni iz ove verzije rada.

Tabela 1: Rezultati klasifikacije

Metode imputacije	Procenat nedostajućih vrednosti	Metode klasifikacije					
		SVM		Bajesov klasifikator		Neuronska mreža	
		Tačnost	Preciznost	Tačnost	Preciznost	Tačnost	Preciznost
Potpun skup podataka	**0%**	**0.9167**	**0.9412**	**0.8750**	**0.9091**	**0.8472**	**0.8571**
Imputacija nulom	**5%**	0.6667	0.7727	0.7083	0.8261	0.8472	0.9032
	10%	0.6389	0.7778	0.6806	0.7826	0.8750	0.8649
	20%	0.6806	0.8095	0.7222	0.8636	0.8194	0.8108
Imputacija srednjom vrednošću	**5%**	0.9028	0.9143	0.8611	0.9063	0.8194	0.8108
	10%	**0.9167**	**0.9412**	0.8750	0.9091	0.8194	0.8485
	20%	0.8611	0.8824	0.8056	0.8929	0.8184	0.8485
***k*NN imputacija podataka**	**5%**	0.6944	0.8182	0.6944	0.8182	0.8333	0.8333
	10%	0.6944	0.8182	0.6944	0.7917	0.8333	0.8529
	20%	0.6944	0.8182	0.6944	0.8182	0.8611	0.8611

Tumačenje rezultata

Kao što možemo videti iz Tabele 1, sva tri klasifikatora su na skupu podataka bez nedostajućih vrednosti dala zadovoljavajuće rezultate. Klasifikator koji na početnom skupu podataka ima najbolje performanse je SVM, a najlošije se pokazala neuronska mreža. Kod sva tri korišćena klasifikatora preciznost je veća od tačnosti. Na osnovu toga možemo zaključiti da svi klasifikatori preciznije klasifikuju pozitivnu klasu, odnosno ona preduzeća koja su bankrotirala.

Nakon uvođenja različitog procenta nedostajućih vrednosti dalje smo analizirali uticaj različitih metoda imputacije na tačnost klasifikacije.

Metoda imputacije nulom je najbolje rezultate dala u kombinaciji sa neuronskom mrežom kao klasifikatorom, pri čemu procenat nedostajućih vrednosti nije bitno uticao na tačnost klasifikacije. S obzirom da je neuronska mreža univerzalni aproksimator, bilo je očekivano da nule neće imati preveliki uticaj na rezultat klasifikacije. Sa druge strane, imputacija vrednosti nulama je dala značajno slabije rezultate u slučaju Bajesovog klasifikatora i SVM metode, koji su se u kombinaciji sa ovom metodom pokazali kao rešenja koja imaju najmanju tačnost. Uzimajući u obzir da se SVM metoda zasniva na skalarnom proizvodu, očekivano je da metoda imputacije nulom nije najbolji izbor. Takođe, uočavamo da procenat nedostajućih vrednosti nije imao velikog uticaja ni prilikom korišćenja ova dva klasifikatora.

Dalje, možemo uočiti da imputacija srednjom vrednošću u kombinaciji sa SVM metodom ima najbolje performanse. Rezultati klasifikacije dobijeni kombinacijom ovih metoda na skupu podataka koji sadrži 10% nedostajućih vrednosti su čak ekvivalentni rezultatima dobijenim u slučaju potpunog skupa podataka. I u slučaju klasifikacije naivnim Bajesovim klasifikatorom imputacija srednjom vrednošću se pokazala kao najbolji izbor. To je i bilo očekivano imamvši u vidu da su obe ove metode zasnovane na statističkom pristupu. Ipak, dobijeni rezultati su slabiji od onih dobijenih korišćenjem SVM klasifikatora.

*k*NN metoda imputacije podataka najbolje performanse ima u kombinaciji sa neuronskim mrežama. Rezultati SVM metode i Bajesovog klasifikatora nakon zamene nedostajućih vrednosti najbližim susedom su identični i znatno slabiji od rezultata dobijenih korišćenjem imputacije srednjom vrednošću. Bez obzira što je imputacija *k*NN algoritmom složenija tehnika od proste zamene nedostajućih vrednosti srednjim vrednostima posmatranih atributa, ona nije dala bolje rezultate na ovom skupu podataka.

Ako posmatramo uticaj procenta nedostajućih vrednosti na rezultate, možemo primetiti da najmanji uticaj ima prilikom primene *k*NN metode imputacije za sve klasifikatore. Za neuronsku mrežu je karakteristično i da tačnost i preciznost imaju približne vrednosti za sve metode imputacije, dok se kod Bajesovog klasifikatora i SVM metode najbolje pokazala metoda imputacije srednjom vrednošću. Stoga, možemo zaključiti da neuronska mreža je najmanje osetljiva ne samo na procenat nedostajućih vrednosti, već i na način njihovog popunjavanja. Takođe, primećujemo i da veći procenat nedostajućih vrednosti ne dovodi do smanjenja performansi klasifikatora u opštem slučaju. Kod metode imputacije nulom SVM i naivni Bajesov klasifikator imaju najbolje performanse klasifikacije za najveći procenat nedostajućih vrednosti što nije intuitivan rezultat.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je uticaj nedostajućih vrednosti i metoda imputacije podataka na rezultate klasifikacije. Nakon izvršenog eksperimenta možemo zaključiti da procenat nedostajućih vrednosti u datum skupu podataka ne utiče bitno na performanse klasifikatora. U slučaju posmatranog skupa podataka, neuronske mreže su se pokazale kao klasifikator koji je najmanje osetljiv na nedostajuće vrednosti bez obzira na metod njihove imputacije. Imputacija srednjom vrednošću se pokazala kao metoda koja ukoliko posmatramo sva tri navedena klasifikatora daje najbolje rezultate. Stoga, možemo tvrditi da u ovom slučaju korišćenje složenije metode imputacije, poput metode *k*-nabližih suseta, ne dovodi do unapređivanja ishoda klasifikacije. Pojedinačno, najbolje performanse klasifikacije postignute su upotrebom SVM metode u kombinaciji sa imputacijom srednjom vrednošću.

Planirane aktivnosti za dalje istraživanje podrazumevaju upotrebu više različitih metoda imputacije, kao što je na primer LASSO metoda, kao i sprovođenje eksperimenta na velikom broju skupova podataka kako bi se utvrdilo da li najbolja kombinacija metoda klasifikacije i imputacije zavisi od skupa podataka koji se koristi. Takođe, jedan od potencijalnih smerova za istraživanje je i da se generiše procenat nedostajućih vrednosti za jedan, unapred određeni atribut kako bi se ispitalo do kog procenta nedostajućih vrednosti dati atribut ima relevantan uticaj na rezultate klasifikacije.

5. LITERATURA

[1] Altman, E.I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. The Journal of Finance, 23(4), 589-609.

[2] Čabarkapa S., Kojić N., Radosavljević, B., & Reljin B. (2008). Jedna implementacija SVM u CBIR sistemu. 16. telekomunikacioni forum (TELFOR 2008), Beograd, Srbija, 613-616.

[3] Enders, C.K. (2010). Applied missing data analysis. New York: Guilford Press.

[4] Garcia-Laencina, P.J., Sancho-Gomez, J.L., Figueiras-Vidal, A.R., & Verleysen, M. (2009). K nearest neighbours with mutual information for simultaneous classification and missing data imputation. Neuro Computing, 72, 1483-1493.

[5] Huang, Z., Chen, H., Hsu, C. J., Chen, W. H., & Wu, S. (2004). Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study. Decision Support Systems, 37(4), 543-558.

[6] Hagan, M.T., Demuth, H. B., & Beale, M. H. (1996). Neural network design. Boston: PWS Publishing Co.

[7] Haykin, S. (2009). Neural Networks and Learning Machines. (3rd ed.). New Jersey: Pearson.

[8] Koloseni, D. (2015). Differential evolution based classification with pool of distances and aggregation operators. Doctoral thesis. Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta.

[9] Larose, D.T. (2014). Discovering Knowledge in Data: an Introduction to Data Mining. New Jersey: John Wiley & Sons.

[10] Little , R.J.A., & Rubin, D.B. (2002). Statistical Analysis with Missing Data, New York: John Wiley & Sons.

[11] Little, R.J.A., & Schluchter, M.D. (1985). Maximum likelihood estimation for mixed continuous and categorical data with missing values. Biometrika, 72(3), 497-512.

[12] Lohr, S.L. (2010). Sampling: Design and Analysis. Boston: Brooks/Cole.

[13] Mitchell T. (1997). Machine Learning. Boston: McGraw Hill.

[14] Papakostas, G.A., Hatzimichailidis, A.G., & Kaburlasos, V.G. (2013). Distance and similarity measures between intuitionistic fuzzy sets: A comparative analysis from a pattern recognition point of view. Pattern Recognition Letters, 34(14), 1609-1622.

[15] Suykens, J.A., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. Neural Processing Letters, 9(3), 293-300.

[16] Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 267-288.

[17] Zhang, H., & Ling, C.X. (2001). Learnability of augmented Naive Bayes in nominal domains. Proceedings of the 18th International Conference on Machine Learning, San Francisco, USA, 617-623.

[18] Zurada M. J. (1992). Introduction to Artificial Neural Systems, New York: West Publishing Co.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SOME CERTAIN PROPERTIES OF THE GENERALIZED OF THE HYPERSPHERE FUNCTION

DUŠKO LETIĆ
University of Novi Sad, Technical Faculty M. Pupin, Zrenjanin, Serbia, dletic@open.telekom.rs

Abstract: *In this paper are presented the results of theoretical researches of hypersphere function on the basic of generalization of two known functions referring to hypersurface* $S(k,r)$ *and hypervolume* $V(k,r)$ *of sphere and supposed recurrent relation between them. On the basis of the two introduced freedom degrees is performed the generalization of these functions. So, we have got a special continual function, i.e. generalized hypersphere function. Symbolic evaluation and numerical experiment are realized by the program pachages Mathcad Professional and Mathematica.*

Key words: *Special function, Hypersphere, Freedom degree*

1. INTRODUCTION

Hypersphere function is a hypothetical function can nected with multidimensional space. It belongs to the group of special functions, so its testing is being performed on the basic of the known functions as the types *gama* (Γ), *psi* (ψ), *beta* (B) and the like. The most significant value is in its generalization from descrete to continuum. In addition to it we can from the scope of natural integer of values, pass to the set of real and noninteger values. So, there gather canditions as well for its graphic interpretation and more concised analysis. For the development of the hypersphere functions theory are especially responsible: Neville [23], Conway [4], Sloane [28], Collins [3], Hinton [7], Manning [20], Loskot and Norman [19], Rucker [25], Sommerville [29], Maunder [21], Freden [6] Weels [31], Hocking and Young [8], Dodd and Coll [5], Bishop [1], Rohrmann and Santos [24], Satoshi, Watanabe and Ohno [27] and the others. Today the researches of the hypersperical functions are represented both in Euclid's and Riemann's geometry and topology (Riemann's and Poincare's sphere, multidimensional potentials, theory of fluids, nuclear physics, hyperspherical black holes, and the like).

1.1 Hypersphere Surface and Volume

As analyses present, the surface of the hypersphere of the diameter r can be defined as a form function [36]:

$$S(k,r)=\frac{k\sqrt{\pi^k}\,r^{k-1}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}+1\right)}=\frac{2\sqrt{\pi^k}\,r^{k-1}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}. \tag{1}$$

Where: $\Gamma(x)$ ($x\neq 0$) is *gama* function, while k is specially defined dimension degree ($k\in Z$). In the intergration result, we get the term for hypersphere volume (V), of r radius [34], [33, 14, 16, 12, 2].

$$V(k,r)=\int_0^r S(k,r)dr=\frac{\sqrt{\pi^k}\,r^k}{\Gamma\left(\frac{k}{2}+1\right)}. \tag{2}$$

The obrtained terms are key ones for defining more general function that would enclose both previous ones, and so would be performed a unique interpolation between these vectors by which are being described surfaces, i.e. volumes of hypersphere.

1.2 Hypersphere function with two degrees freedom

Previous results (1) and (2), as it is known, present, respectively two-dimensional (surface-surf), that is three-dimensional (volume-solid) entities. In addition to certain generalizations, these terms may create a notion of a hypersphere functions family, whose development would now flow along ”horizontal” dimensions or freedom degrees n, where is $n \in N$. Within every ”horizontal” freedom degrees n, exsists as well ”vertical” one of freedom, k (that is orthogonal in relatio to n) (Fig. 1 and 2).

1.3 General form of hypersphere function

Definition 1.1. The hyperspherical function with two degrees of freedom k and n is defined as

$$HS(k,n,r) = \frac{2\sqrt{\pi^k}\, r^{k+n-3}\Gamma(k)}{\Gamma(k+n-2)\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \qquad (k,n \in Z). \tag{3}$$

The previous functional equation can be presented as well by so-called Pochhammer’s symbols [37]. At the same time, with the deductions along to the radius r, we can, as well, perform “motions” to lower *freedom degrees*, starting from the n-th one, on the basic of recurret relations of the type

$$\frac{\partial}{\partial r} HS(k,n,r) = HS(k,n-1,r) \quad \text{and} \quad \frac{\partial^n}{\partial r^n} HS(k,n,r) = HS(k,0,r). \tag{4}$$

The example od derivation of known sphere functions shows that the second ($n = 2$) freedom degree is achieved, and it is level lower than level of volumes (columns).

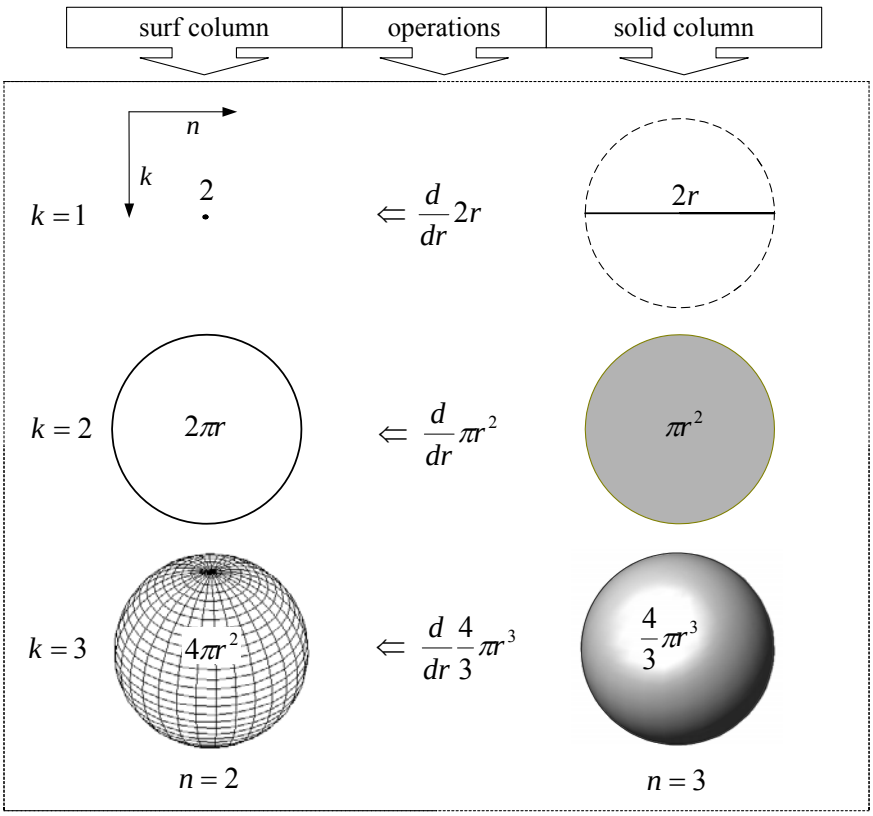


Fig. 1 Moving through the vector of real surfaces: Deducting one freedom degree k of surface sphere we get circumference, and for two (degrees) we get the point 2 (left). Moving through the vector of real solids, i.e. by deduction of one freedom degree k from the sphere, we get a circle (disk), and for two (freedom degrees), we get a line segment or diameter (right column)

The right column in Fig. 1 relates to sphere solids. For example HS-solid with the freedom degree $k = n = 3$ is a sphere solid or a sphere. Within this column, for $k < 3$ every primitive is called a hypersphere solid. For $k > 3$ ($k \in Z$) these objects are hypersphere primitives. Consequently, the first hyporsphere solid is a circle (or a disc), while the second is diameter. Formally, they are solids with deducted one, respectively two freedom degrees k. When k is $\in \Re$ (Fig. 3), then, also, are stake hypersphere objects. Similar division is related as well to the freedom degree $n = 2$, that relates to the surface sphere objects, or surf (the left column).

2. THE MATRIX FORM OF HYPERSPHERE FUNCTION

2.1 The Submarix of Hypersphere functions

Toking into consideration that the hypersphere function is twodimenzional (leaving reserve toward radius r, as the third dimension), and that its values change depending on number of freedom degrees n and k ($n = 0, 1, 2, 3, \ldots$ and $k = 0, 1, 2, 3, \ldots$), cach of them can be presented, in discrete form, by the next matrix $[M] = M_{kxn}$ or $M[HS]_{kxn}$.

This function has special meaning with the establishment of the extremum of contour HS-functions. On the basic of general form (3) of the matrix M_{kxn} ($k, n \in Z$) follow concrete values for the selected submatrix 9x9 ($k \in -3, -2, \ldots 5$ and $n \in -2, -1, \ldots 6$).

$$M[HS]_{kxn} = \tag{5}$$

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccccc} -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\
\left[\begin{array}{ccccccccc}
\frac{1260}{\pi^2 r^8} & -\frac{180}{\pi^2 r^7} & \frac{30}{\pi^2 r^6} & -\frac{6}{\pi^2 r^5} & \frac{3}{2\pi^2 r^4} & -\frac{1}{2\pi^2 r^3} & \frac{1}{4\pi^2 r^2} & -\frac{1}{4\pi^2 r} & undef. \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{2\pi} & -\frac{r}{2\pi} \\
-\frac{120}{\pi r^6} & \frac{24}{\pi r^5} & -\frac{6}{\pi r^4} & \frac{2}{\pi r^3} & -\frac{1}{\pi r^2} & \frac{1}{\pi r} & undef. & undef. & undef. \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & r & \frac{r^2}{2} & \frac{r^3}{6} \\
0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2r & r^2 & \frac{r^3}{3} & \frac{r^4}{12} \\
0 & 0 & 0 & 2\pi & 2\pi r & \pi r^2 & \frac{\pi r^3}{3} & \frac{\pi r^4}{12} & \frac{\pi r^5}{60} \\
0 & 0 & 8\pi & 8\pi r & 4\pi r^2 & \frac{4\pi r^3}{3} & \frac{\pi r^4}{3} & \frac{\pi r^5}{15} & \frac{\pi r^6}{90} \\
0 & 12\pi^2 & 12\pi^2 r & 6\pi^2 r^2 & 2\pi^2 r^3 & \frac{\pi^2 r^4}{2} & \frac{\pi^2 r^5}{10} & \frac{\pi^2 r^6}{60} & \frac{\pi^2 r^7}{420} \\
64\pi^2 & 64\pi^2 r & 32\pi^2 r^2 & \frac{32\pi^2 r^3}{3} & \frac{8\pi^2 r^4}{3} & \frac{8\pi^2 r^5}{15} & \frac{4\pi^2 r^6}{45} & \frac{4\pi^2 r^7}{315} & \frac{\pi^2 r^8}{630}
\end{array}\right]
\end{array}
\begin{array}{c} n/k \\ -3 \\ -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}$$

$n \in N$

$k \in N$

Fig. 2 Submatrix $HS(k, n, r)$ of the function thut covers one area of real freedom degrees ($k, n \in Z$). There are also noticeable the coordinates of six characteristical sphere functions (undef. are singular values $\pm\infty$, and 0 are zeros of this function)

2.2 The graphics of hypersphere functions

The graphics of the function $HS(k,n,r)$ can be presented for the field of real numbers, including both freedom degrees, and accepting radius as parameter. Graphic generating has been performed by the program pashade *Mathematica* and *Mathcad* [13]. In $k,n \in Z$ domain and with the unit radius, the function is convergent. In the other three quadrants of the coordinate system, the oscilations are characteristical, the appearance of zeros and the singularities of the function $HS(k,n,1)$, so it is demanding for analytical testings. The same characteristics are noted on the presented matrix, too (Fig. 2).

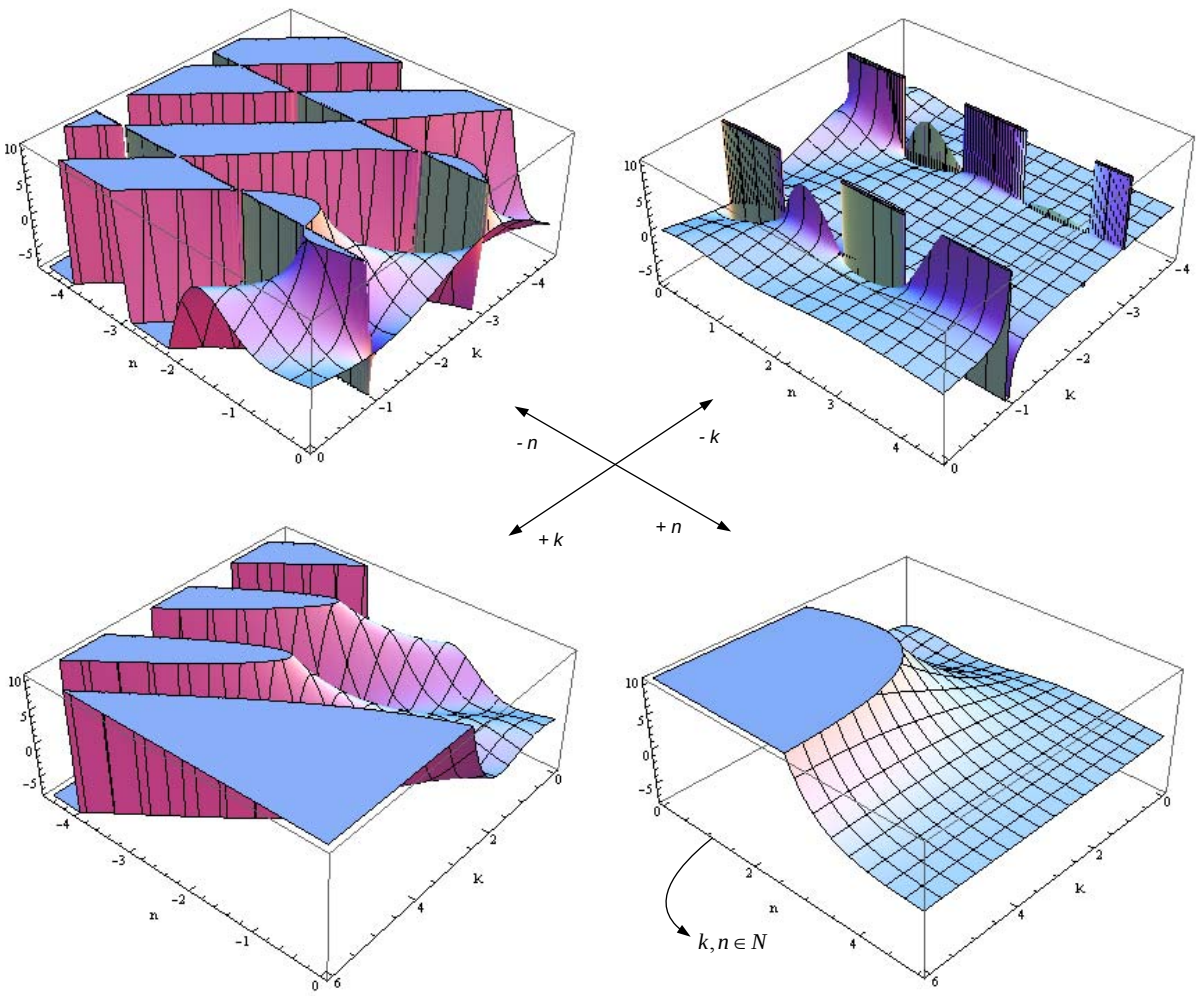


Fig. 3 Visualization of the fypersphere function in the field of real numbers, for all four quadrants

2.3 Hypersphere Function Gradient

Gradient can be applied to hypersphere function, taking into consideration its multi-dimensionality. As this function contains three independently changeables: k, n and r, follows the solution of the gradient functions $\nabla_{k,n,r}$ in vector form:

$$\nabla_{k,n,r}\{HS(k,n,r)\} = HS(k,n,r)\begin{bmatrix} \ln 2r\sqrt{\pi} + \frac{1}{2}\psi_0\left(\frac{k+1}{2}\right) - \psi_0(k+n-2) \\ \ln r - \psi_0(k+n-2) \\ \frac{1}{r}(k+n-3) \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Were: $\psi_0(z)$ - digamma (psi) function [22].

3. CONCLUSION

In researching the hypersphere function there are left at stake the next expandings: dimensions k and n higher than three. Continual dimensions that include noninteger values, zero dimension, the domain of lower than zero dimensions, consequently, the area of complex freedom degrees and the like theoretically they exist, and the generalization achieved by this paper, directs to generality in phenomene that are met in multi-dimensional geometry and topology. In any case, the matrix of negative dimensions demands special structuring and deeper mathematical analysis. Hyperspheres present one part of multi-geometrical objects. In the introduction is stated that sphere is the most symmetrical geometric body. Some other bodies have such property, but not completely. Namely, cube is symmetrical along orthogonal coordinates, if its center is in the concurrence of big diagonals, and the axes of coordinate system are parallel to cube edges. This property have some other polyhedrons. Cube, because of its orthogonallity, has retained the property, that its functions derivations of solid entity create generate surf-entity functions [17, 33]. With the objects that have not the property that recurrency is being made on the basic of derivation function, have to be introduced new freedom degrees depending on object complexity. The next object that has some properties similar to sphere, is cilynder (this similarity is caused by the equality of cilynder height and diameter). Its symmetry is twofold and is not any more unambigous along all coordinate axes as with sphere. These properties are essential suppositions for defining recurrent relations that would give the connestion among functions of some entities and along the columns and along progressions (lines) of cube, respectively cylinder. The examined analysis of multi-dimensional space and formula of this geometry, leads to the conclusion about its complexity and connections with spacial functions and the other areas of mathematics.

REFERENCES

[1] M. Bishop, A. Whitlock, *The Equation of State of Hard Hyperspheres in Four and Five Dimensions*, The Journal of Chemical Physics 123, 14507, (2005).

[2] N. Cakić, D. Letić and B. Davidović, *The Hyperspherical Functions of a Derivative*, Abstract and Applied Analysis, vol. 2010, 17 pages, (2010).

[3] G. P. Collins, *The Shape of Space*, Sci. Amer. 291, July (2004).

[4] J. H. Conway, *Sphere packing, lattices and groups*, 2nd ed. New York: Springer-Verlag, (1993), 9.

[5] J. Dodd and V. Coll, *Generalizing the Equal Area Zones Property of the Sphere*, Journal of Geometry 90, (2008) 47-55.

[6] E. Freden, *Summing a Series of volumes* (Problem 10207), Amer. Math. Monthly 100, (1993) 882.

[7] H. C. Hinton, *The Fourth Dimension*, Pomeroy, WA: Health Research, (1993).

[8] G. J. Hocking and S. G. Young, *Topology*, New York: Dover, (1988).

[9] C. M. J. Joshi and S. Sadan, *Random walk over a hypersphere*, Internat. J. Math. & Math. Sci. Vol. 8, No. 4, (1985), 685-688.

[10] G. A. Kabatiansky and V. I. Levenshtein, *Bounds For Packings on a Sphere and in Space*, PPI 14, No. 1, (1978).

[11] D. Letić and N. Cakić, *Srinivasa Ramanujan, The Prince of Numbers*, Computer Library, ISBN 976-86-7310-452-2, Belgrade, (2010).

[12] D. Letić and N. Cakić, *Generalisation of the Hyperspherical Function*, (monograph to prepare), Technical Faculty *M. Pupin*, Zrenjanin, (2010), 1-129.

[13] D. Letić, B. Davidović, I. Berković and T. Petrov, *Mathcad 13 in mathematics and visualization,* (ISBN 978-86-7310-398-3), Computer Library, Belgrade, (2007), 1-1196.

[14] D. Letić, N. Cakić and B. Davidović, *The Relational Translators of the Hyperspherical Functional Matrix*, Advances in Difference Equations, Journal Hindawi, Volume July 2010, Article ID 973432, 11 pages, (2010).

[15] D. Letić, N. Cakić and B. Davidović, *Mathematical Constants - Exposition in Mathcad*, ISBN 978-86-87299-04-7, Beograd, (2010).

[16] D. Letić, N. Cakić, B. Davidović, I. Berković, *Orthogonal and diagonal dimension fluxes of hyperspherical function*, Abstract and Applied Analysis, Journal Hindawi, Accepted pages 16, December (2011).
[17] D. Letić, N. Cakić, B. Davidović, I. Berković, E. Desnica, S*ome Certain Properties of the Generalized Hypercubical Functions,* Advances in Difference Equations, Accepted December 2011, Journal Hindawi, Springer, pages 14, (2012).
[18] D. Letić, B. Davidović, *The Dimensional Fluxes of the Hypercilindrical Function*, Abstract and Applied Analysis, Accepted March 2011, Journal Hindawi, pages 19, (2011).
[19] P. Loskot and B. C. Norman, *On Monotonicity of the Hypersphere Volume and Area*, Journal of Geometry, Volume 87, Numbers 1-2 / November, 2008, 96-98.
[20] H. P. Manning, *Geometry of Four Dimensions*, ISBN-13: 9781445582917, ISBN-10: 1445582910, Phillips Press, pp. 364, April 2010.
[21] F. R. C. Maunder, *Algebraic Topology*, New York: Dover, (1997).
[22] D. S. Mitrinović, *An Introduction into special functions*, Scientific Book, (ISBN 86-23-202247-3), Belgrade, (1991), 36-37.
[23] H. E. Neville, *The Fourth Dimension*, Cambridge, England: Cambridge University Press, (1921).
[24] D. R. Rohrmann and A. Santos, *Structure of hard-hypersphere fluids in odd dimensions*, http://arxiv.org/abs/0708.2677v2, Phys. Rev. E 76, 051202, (2007).
[25] B. Von R. Rucker, *The Fourth Dimension*: A Guided Tour of the Higher Universes, Boston, MA: Houghtson Miffin, (1984).
[26] T. Sasaki, *Hyperbolic Affine Hyperspheres*, Nagoya Math. J.77, (1980), 107–123.
[27] M. Satoshi, Y. Watanabe and A. K. Ohno, *Scaled Hypersphere Interpolation Technique for Efficient Construction of Multidimensional Potential Energy Surfaces*, Chemical Physics LettersVolume 414, Issues 4-6, October (2005), 265-270.
[28] A. J. N. Sloane, *Sequences*, A072478, A072479, A072345, A072346, A087299, A087300 and A074457 in "The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences".
[29] Y. M. D. Sommerville, *An Introduction to the Geometry of n Dimensions,* New York: Dover, (1958), 136.
[30] Tu, Shu-Ju and E. Fischbach, *A New Geometric Probability Technique for an N-Dimensional Sphere and its Applications to Physics*, Mathematical Physics, *arXiv: math-ph/0004021v3*, 7 May 2001.
[31] D. Wells, *The Penguin Dictionary Of Curious and Interesting Numbers*, Middlesex, England: Penguin Books, (1986).
[32] H. Woonchul and K. Zhou, *A Short Note on the Volume of Hypersphere*, arXiv: cs/0604056v1 [cs.it], Apr. (2006), 13.
[33] Group of authors (Ed.: D. Letic): *Three Archimedes' bodies*, Technical Faculty *M. Pupin*, Zrenjanin, Electrotechnical Faculty, Belgrade, (2010), (1-1720) and (1-136).
[34] http://mathworld.wolfram.com/Ball.html.
[35] http://mathworld.wolfram.com/Four-Dimensional Geometry.html.
[36] http://mathworld.wolfram.com/Hypersphere.html.
[37] http://mathworld.wolfram.com/Pochhammer Symbol.html.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

BULOVSKI KONZISTENTNA REALIZACIJA TEORIJE FAZI SKUPOVA TIPA 2

BOOLEAN CONSISTENT REALIZATION OF FUZZY TYPE- 2 SETS THEORY

DRAGAN RADOJEVIĆ

Institut Mihajlo Pupin, dragan.radojevic@pupin.rs

Rezime: *U ovom radu ilustruje se Bulovski konzistentna teorija fazi skupova tipa 2. Poznato je da konvencionalna teorija fazi skupova nije Bulovski konzistentna pošto ne važe zkoni isključenja trećeg i kontradikcije kao u klasičnoj teoriji skupova. Ovaj problem je rešen uvođenjem interpolativne Bulove algebre. U ovom radu se pokazuje da interpolativna Bulova algebra omogućuje Bulovski konzistentu realizaciju i teroije fazi skupova tipa 2.*

Ključne reči: *teorija fazi skupova tipa 2, interpolativna Bulova algebra*

Abstract: *In this paper is illustrated application of interpolative Boolean consistent theory for fuzzy sets type 2. It is known that conventional theory of fuzzy sets and fuzzy logic are not in Boolean frame since the lows of contradiction and excluded middle are not satisfied as in classical case. This problem is resolved by introducing interpolative Boolean algebra. In this paper is shown consistent realization of fuzzy set theory type 2 using interpolative Boolean algebra.*

Keywords: *Theory of fuzzy sets type 2, Interplative Boolean algebra*

1. UVOD

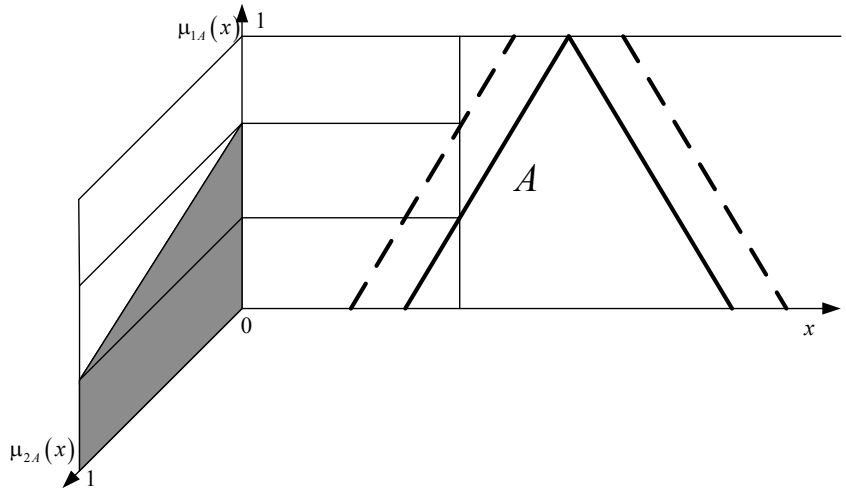
Klasična Bulova algebra je osnova zakona mišljenja, ali samo onog koji počiva na crno-beloj slici istina – neistina. Konvencionalna više-vrednosna logika, fazi logika i teorija fazi skupova ne zadovoljavaju Bulove zakone isključenja trećeg i kontradikcije pa stoga nisu u Bulovom okviru. Navedeni problemi su prezvaziđeni realizacijom konzistentne više-vrendosne i/ili realno-vrednosne Bulove algebre poznate pod imeno Interpolativna Bulova algebra. U ovom radu se ilustruje realizacija fazi tpa-2 u Bulovom okviru primenom navedene konzistente generalizacije Bulove algebre – interpolativne Bulove algebre.

2. INTERPOLATIVNA BULOVA ALGEBRA

Klasična Bulova algebra [1] počiva na principu istinitosne funkcionalnosti, tj.vrednost proizvoljne Bulove funkcije izračunava se na osnovu vrednosti komponenti te funkcije. Ovaj princip je preuzet u konvencionalnoj generalizaciji viševrednosne logike i u konvencionalnoj fazi logici i teoriji fazi skupova i [2], kao i teorije fazi tpa-2 skupova [3], što kao posledicu ima nemogućnost zadovoljenja Bulovih aksioma isključenja trećeg i kontradikcije. Ovaj problem je prevaziđen realizacijom interpolativne Bulove algebre [4], koja počiva na principu strukturne funkcionalnosti. Struktura analizirane funkcije govori koje atomske funkcije su uključene u nju i izračunava se na osnovu strukture njenih komponenti. Princip istinitosne funkcionalnnosti je samo poseban slučaj strukturne funkcionalnosti i važi samo za vrednosti 0 i 1. Atomska funkcija u klasičnom slučaju ima vrednost 1 samo za jednu kombinaciju promenljivih a za sve ostale ima vrednost 0. U viševrednosnom i/ili realno vrednosnom slučaju više atomskih funkcija (pa sve do svih) mogu da imaju vrednosti ali tako da je suma vrednosti svih atomskih funkcija identično jednaka 1. U slučaju fazi skupova funkcija pripadanja analiziranog fazi skup je unija relevantnih atoma a funkcija pripadanja njegovog komplementa je unija preostalih atoma [5], tako da je njihov presek prazan skup a unija je jednaka univerzumu – sadrži sve atome a njihova je suma identično jednaka 1. U ovom radu se pokazuje da je primenom interpolativne Bulove algebre moguće Bulovski konzistentno realizovati pored konvencionalne teorije fazi skupova i teoriju fazi skupova tipa 2, tako da su zadovoljene sve teoreme i aksiome Bulove algebre.

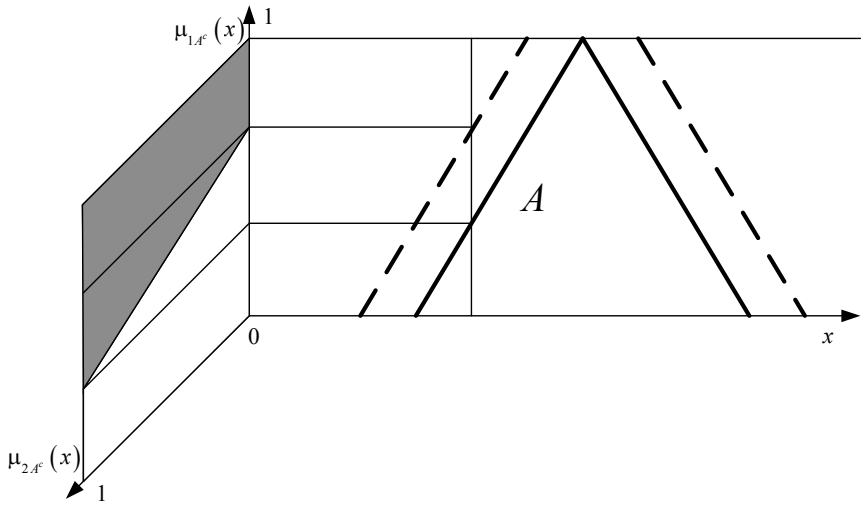
4. PRIKAZ REZULTATA

Fazi skup tipa 2 ima generalizovanu funkciju pripadanja koja se prikazuje sa dve vrednosti, prva odgovara klasičnom fazi skupu a druga odslikava nepreciznost imanentu fazi skupu u opštem slučaju.Vrednost funkcije pripadanja fazi skupa tipa 2 je grafički prikazana na slici 1. i odgovara površini koji predstavlja deo jediničnog kvadrata.



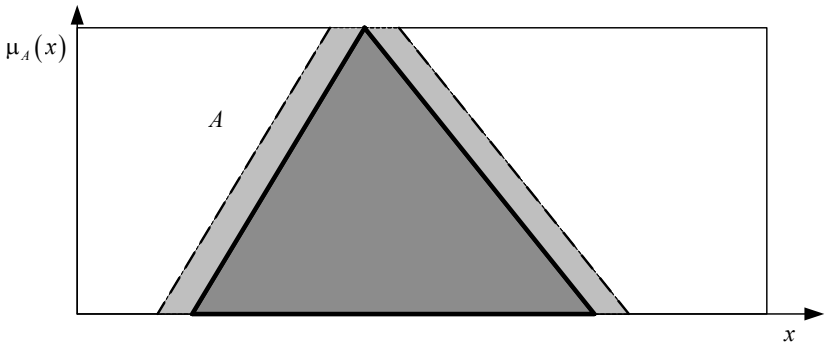
Slika 1. Funkcija prpadnosti fazi skupa A tipa 2 u tački x.

Funkcija komplementa pripadanja fazi skupa tipa 2 u istoj tački, sa aspekta interpolativne Bulove algebre prikazana je na slici 2. i predstavlja ostatak površine jediničnog kvadrata sa slike 1. Dakel presek ove dve površine je jednak 0 a unija je jednaka 1 tj. zakon isključenja trećeg i kontradikcije važi!

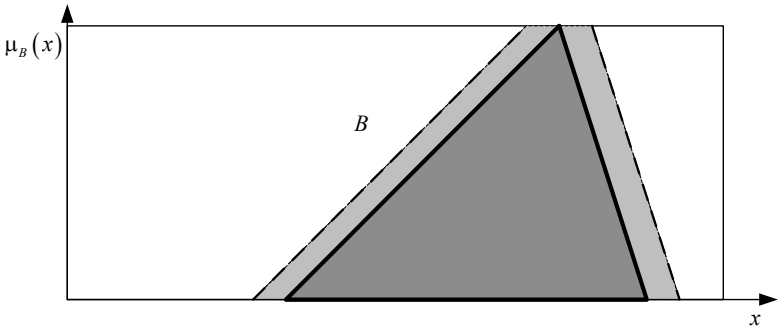


Slika 2. Funkcija komplementa (negacije) fazi skupa A tipa 2 u tački x.

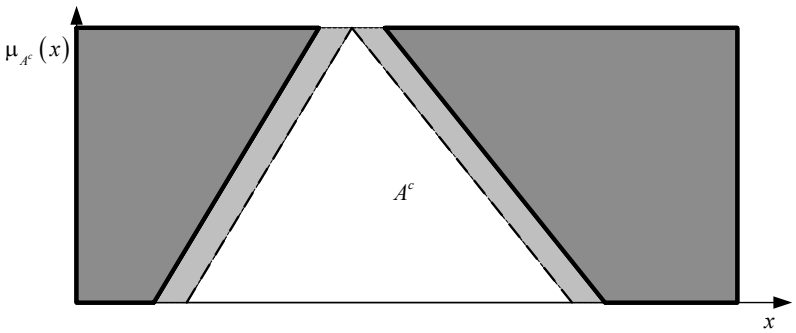
Fazi skupovi tipa 2 A i B prikazani su na slikama 3. i 4. respektivno. Komplement fazi skupa A tipa 2 prikazan je na slici 5.



Slika 3. Fazi skupa A tipa 2

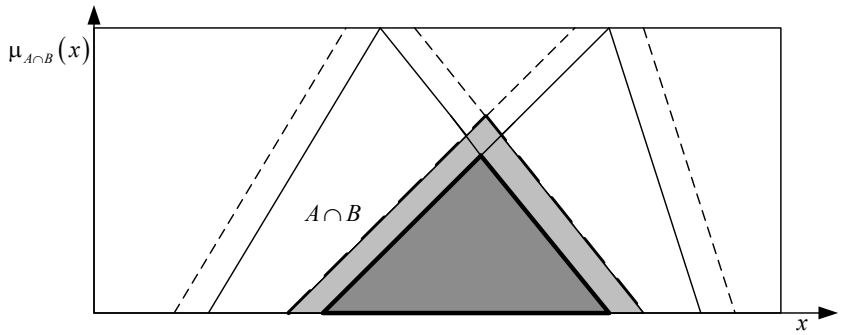


Slika 4. Primer fazi skupa A tipa 2

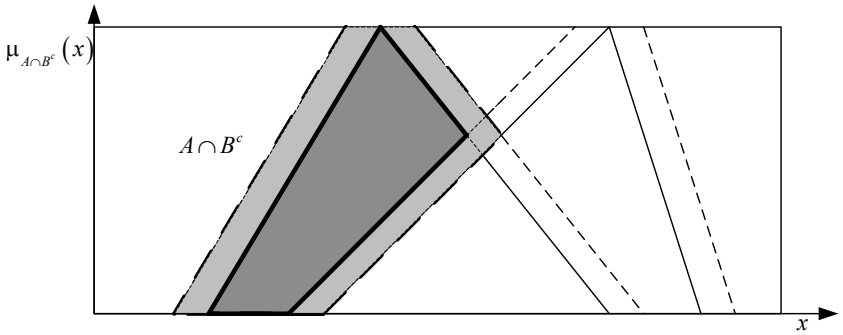


Slika 5.Komplement fazi skupa A tipa 2

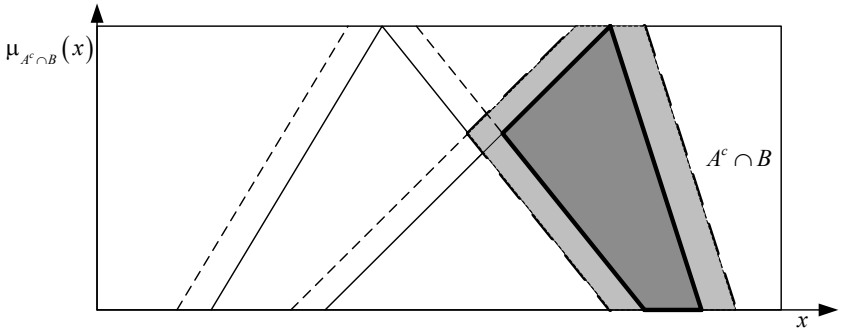
Atomske relacija nad fazi skupovima A i B tipa 2 prikazane su na slikama 6. do 9.



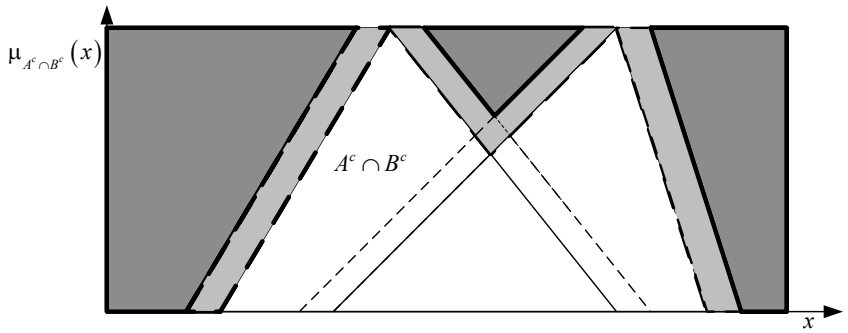
Slika 6. Presek fazi skupova A i B tipa 2



Slika 7. Presek fazi skupova tipa 2 A i kompelemnta B

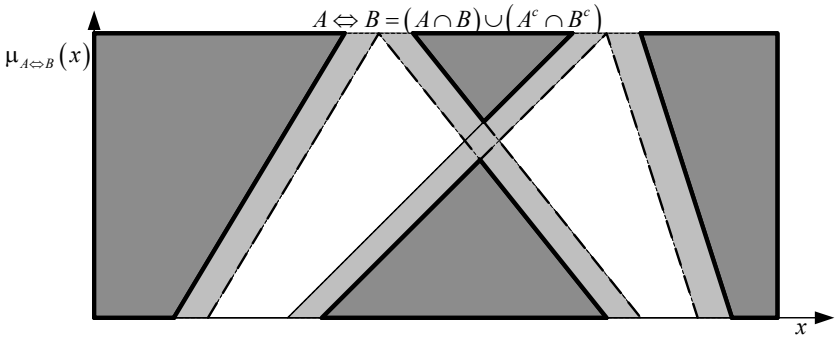


Slika 8. Presek fazi skupova tipa 2 B i kompelemnta A



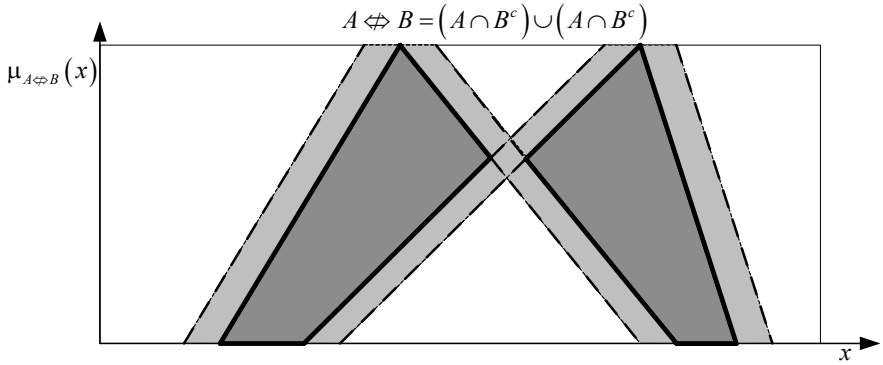
Slika 9. Presek komplemenata fazi skupova tipa 2 A i B

Relacije ekvivalencije fazi skupova A i B tipa 2 prikazana je na slici 9.::



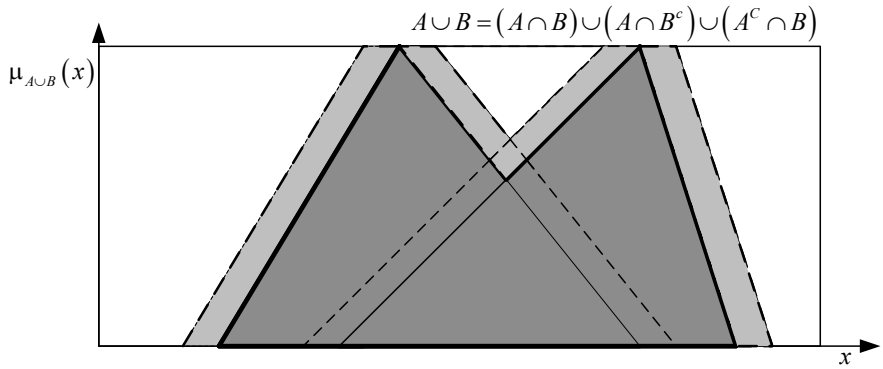
Slika 10. Relacija ekvivalencije fazi skupova A i B tipa 2

Relaciuja različitosti izmefju fazi skupova A i B tipa 2 je komplement relacije sličnosti i prikazana je na slici 11.:

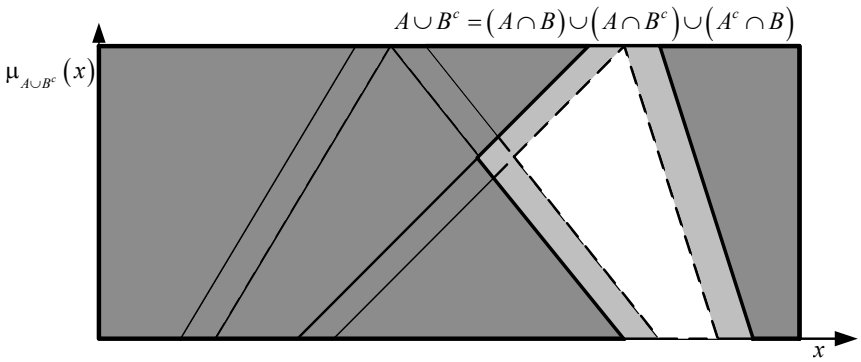


Slika 11. Relacija različitosti fazi skupova A i B tipa 2

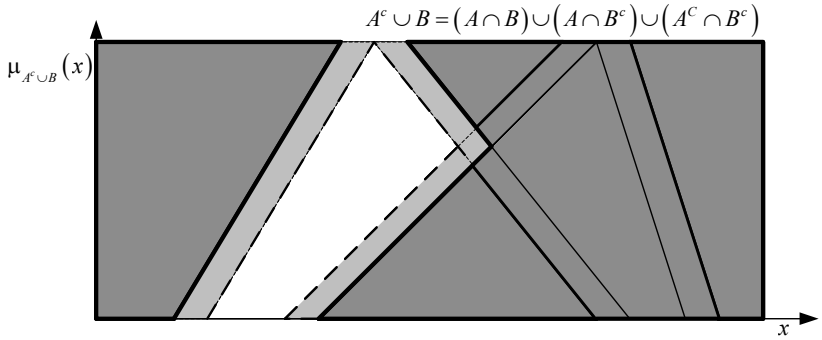
Relacije unije fazi skupoa A i B tipa 2 i njihovih komplemenata prikazani suz na slikama 12. do 15.



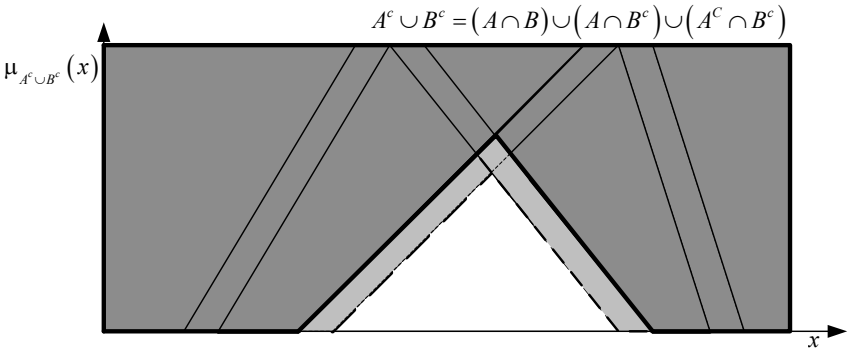
Slika 12. Unija fazi skupova A i B tipa 2



Slika 13. Unija fazi skupa A i komplementa B tipa 2



Slika 14. Unija komplementa fazi skupa A i skupa B tipa 2



Slika 15. Unija komplementa fazi skupa A i skupa B tipa 2

Proizvoljni fazi skup tipa 2, dobija se kao unija relevantnh atomskih fazi skupova tipa 2. Relevantni atomski skupovi za analizirani fazi skup tipa 2 određeni su njegovom strukturom.

5. ZAKLJUČAK

Primenom konzistente generalizacije Bulove algebre - interpolativna Bulova algebra, moguće je tretirati u Bulovom okviru i konvencionalnu fazi logiku i teroiju konvencionalnih fazi skupova. U ovom radu je ilustrovana realizacija teorije fazi skupova tipa 2 tako da važe sve teoreme i aksiome Bulove algebre. Ovo je od posebnog značaja za AI tehnologije u opštem slučaju pošto su se i konvencionalna fazi logika i teorija fazi skupova kao i fazi skupova tipa 2 tretirali kao tehnike za koje Bulova algebra nije adekvatna. Dakle, sve teoreme klasičnog dvo-vrednosnog slučaja pristupom zasnovanim na primeni interpolativne Bulove algebre mogu se direktno primeniti na fazi (realno-vrednosnoj) logici, fazi teoriji skupov kao i na problemima fazi tipa 2.

LITERATURA

[1] George Bool, The Laws of Thought

[2] Lotfi Zadeh, Fuzzy set theory. Information and Control. (1965) 8 (3) pp. 338–353.

[3] Jerry Mendel, Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple

[4] Dragan Radoejvić, Real-Valued Realizations of Boolean Algebras are a Natural Frame for Consistent Fuzzy logic, On Fuzziness, A Homage to Lotfi Zadeh – Volume 2, SPRINGER, 2013, pp. 559-565.

[5] Dragan Radojević, Fuzzy set thery in Boolean frame, International Journal of Computers, Communications & Control (IJCCC) (2008) []

2017

NAUKA O PODACIMA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

BIG DATA ANALYTICS IN PUBLIC ADMINISTRATION

ALEKSANDAR SIMOVIĆ[1]

[1] The Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, asimovich@gmail.com

Abstract: *Potential of the Big Data environment attracts great attention in information science, data analytics and in digital transformations of public administration, government, and interaction between citizens, legal entities, and business sectors. On the one hand, the extraction of hidden values from large datasets has strategic importance for modernization of the state and faster economic development, leading in prosper in communication between participants, on the other hand, data loses its value without the knowledge and ability to be analyzed. This paper is aimed to demonstrate the possibility of deploying predictive Big Data analysis model in public administration as well as the state-of-the-art techniques and technologies such as Machine Learning to deal with the Big Data analytics. The subject of the research is the application and development of the machine learning model in the data analysis that may be applicable in public administration.*

Keywords: *Public Administration, Big Data, Analytics, Machine Learning*

1. INTRODUCTION

Alvin Toffler in his book Future Shock in 1970 through the contour of the Information Overload, set the theory that too much information will lead to decision making conflict (Toffler 1970). Nowadays we have confronted with a large amount of rapidly arriving differential data from various sources which in combination with new technologies and analysis techniques have the potential to new knowledge discovery and decision making proficiency.

In 2010, the Council of Advisors on Science and Technology noted that network and information technologies are the key drivers of economic competitiveness and important for achieving major, national and global priorities in the fields of national security, health, energy, education and continuous learning, able to accelerate the process of knowledge discovery in all other areas which are essential for achieving the key goals of the public administration (Holdren *et al.* 2010). The fundamental component of their aspiration is the Big Data paradigm. Big Data is often defined as the datasets that are too large, different and dynamic that exceed the ability of the traditional database management system, software and hardware to process it (Laney 2001). According to Klievink „Processing Big Data is a complex task due to its large volume, high velocity, and great variety (Kankanhalli *et al.* 2016)“. Yet, the integration of the large datasets with new technologies and visualization techniques can extract knowledge and create insights into the biggest challenges in public administration. Moreover, the ability of the eGovernment system to apply new technology for Big Data analytics has the potential to reduce information overload, resulting in a new scientific and research solutions, enabling faster economic development by providing benefits to citizens and government through new and efficient public administration (Bertot and Choi 2013).

1.1. Big Data instances in public administration

There is a lot of examples of Big Data instances in public administration. Some of them are:

- US Climate Corporation. Hydrometeorological station providing guidelines for compensation between the national crop insurance and agricultural losses due to weather conditions. Large network sensors analyze and predict temperature trends, precipitation, soil moisture and total yields for 20 million US agricultural fields. Predicting the total number of daily heat shocks and soil moisture, the Big Data model developed by the Hydrometeorological Station assist in determining the appropriate weather conditions that farmers need, as well as the insurance quotes for paying insurance premiums due to possible damage caused by the weather (Wohlsen 2012).
- Centers for Disease Control and Prevention – CDC's the Climate-Ready States and Cities Initiative. The company used a series of Big Data techniques to analyze the implications of climate change in New York, as well as to provide a strategy to climate change and their impacts in areas such as

agriculture and public health. The CDC's BRACE – Building Resilience Against Climate Effects framework provides guidelines for developing strategies and programs that counter the health implications of climate change. By collecting and analyzing complex atmospheric data, they successfully predicted climate changes, planned public responses and carried out adequate activities (CDC's 2015).

- New Jersey Department of Transportation. Data from GPS devices in vehicles and mobile phones about the speed of the car moving along the main roads were collected and analyzed. During work, in real-time, Big Data ecosystem warns of possible road incidents at the same time warning the driver by sending a traffic signal to a GPS device or mobile phone (Kim *et al.* 2011).
- Tennessee Valley Authority – TVA. In the energy sector, TVA has built a system for collecting and analyzing data, called Open Phasor Data Collector – OpenPDC (Bisciglia 2009). OpenPDC monitors the amount of incoming data from sensors connected to the power generation system. These sensors, distributed around the electrical network, control and report the functionality and status of each generator, track possible changes on the network, allowing the quick response of the Big Data ecosystem to reduce or prevent failures, and better manage the available capacities. The new business procedures using the new Big Data analytics technology has reduced the company's operating costs and provided corporate social responsibility with the goal of better control of greenhouse gases, emission gases, and other environmental risks.

The examples listed are just some of the many in the various sectors and domains of business to highlight the potential of the Big Data instances. And other industries and business domains have such cases. While details differ, understanding data is critical for creating efficient public administration.

In the United States, within the framework of the initiative to encourage and expand the Big Data use within the public administration, the project Open Government Directive – OGD has been launched by adopting three guiding principles of openness (Obama 2009):

- Transparency. Agencies should treat information as national goods and encourage and strengthen the public's need for insight into the information for which the government and the public administration are responsible.
- Participation. Agencies need to inform and improve government decision-making through proactive engagement of civil society.
- Cooperation. Agencies need to cooperate with non-profit organizations, enterprises, state and educational institutions to achieve better and more efficient work of government and public administration.

2. RESEARCH APPROACH

In addition to the noted facts that information and communication technologies are being developed exponentially, the application of new technologies and new knowledge discovery is crucial for the efficient public administration and state institutions. In that order, there are complex requirements for designing and implementing a machine learning systems in modern public administration and eGovernment information systems. Machine learning is an important field of computer science aimed at designing algorithms that enable computers to evolve behaviors based on existing data in order to execute forecasts of future outcomes and trends (Chen and Zhang 2014). The main characteristic of machine learning is developing the model which can detect patterns in data, and make intelligent decisions automatically (Murphy 2012).

The subject of the research is the application and development of the machine learning model in the data analysis that may be applicable in public administration. The problem considered in this paper is the analysis of income in a specific demographic area. For the development and implementation of the model for machine learning in information systems of public administration, it is necessary to determine the criteria for data collecting. The dataset should contain the necessary information that can contribute to the greater accuracy of the calculation. In order for machine learning implementation in public administration, it is necessary to integrate it with the existing information system. Researchers indicate that the application of machine learning in calculations and knowledge discovery in data in the Big Data environment is the basis for faster and more efficient public administration (Klievink *et al.* 2017).

The research approach is to demonstrate the possibility of applying the appropriate machine learning model in the public administration. The model should include the existing information infrastructure, the architecture of the system implementation, the process of introducing machine learning systems in the Big Data environment, the appropriate algorithms of the application in the process of performing calculations, and integration with existing eGovernment services. The architecture of the Big Data ecosystem in public administration should include data sources, applications and tools for machine learning, and an integration

mechanism with the existing system. The processes of introducing machine learning in eGovernment are carried out by public and state institutions and should be in line with the needs of both, institutions and citizens.

In the experimental part of the work, the practical application of the analysis of an income of the applied dataset was conducted using the Azure Machine Learning Studio.

3. PRACTICAL APPLICATION OF DATA ANALYSIS

Data sample that was used in calculations is from the available and open Cortana Intelligence Suite data libraries that are integrated into the ML Studio (Microsoft 2017). Data libraries are composed with ready-made algorithms for developing the design of the machine learning model. Data sample is based, inter alia, on the demographic characteristics, age, education, occupation, etc., and at last on an income of the subjects. Figure 1 shows the information contained in the sample. The dataset has 32561 rows arranged in 15 columns, of which income is shown in column 15. The performed experiment was meant to show the accuracy of the applied algorithm and model of machine learning calculation based on the integrated data from the Cortana library. Evaluation of the applied model should give guidance to data analysts for its later application.

Eksperiment - Predikcija prihoda › Adult Census Income Binary Classification dataset › dataset

rows 32561 columns 15

view as

age	workclass	fnlwgt	education	education-num	marital-status	occupation	relationship	race	sex	capital-gain	capital-loss	hours-per-week	native-country	income
39	State-gov	77516	Bachelors	13	Never-married	Adm-clerical	Not-in-family	White	Male	2174	0	40	United-States	<=50K
50	Self-emp-not-inc	83311	Bachelors	13	Married-civ-spouse	Exec-managerial	Husband	White	Male	0	0	13	United-States	<=50K
38	Private	215646	HS-grad	9	Divorced	Handlers-cleaners	Not-in-family	White	Male	0	0	40	United-States	<=50K
53	Private	234721	11th	7	Married-civ-spouse	Handlers-cleaners	Husband	Black	Male	0	0	40	United-States	<=50K
28	Private	338409	Bachelors	13	Married-civ-spouse	Prof-specialty	Wife	Black	Female	0	0	40	Cuba	<=50K

Figure 1: Dataset visualization

In the next steps, the experiment was performed as follows:

- A random partition of the dataset into two parts was performed. The first part of 70% is a training set, while the second part of 30% is testing set;
- Two-Class Boosted Decision Tree algorithm (Tu 2005) has been chosen for the interconnection of the Training model;
- An algoritam train it self to be able to predict income based on information of the dataset;
- The training model was performed calculation on the selected dataset;
- The score model and the model for evaluation was executed;
- Interconnections of the training model to shared data (an algorithm, split data and score model) has been made;
- At the end, the final computation and the evaluate model of the machine learning has been accomplished (shown in Figure 2).
- With successfully deployed computation, the machine learning model automatically extend the dataset and adds two additional columns to the score model: scored labels (shown in column 16) and scored probabilities (shown in column 17), to the results of the dataset (shown in Figure 3).

An analysis of the results of the added columns is:

- In first added column, scored labels shows the predicted class for each subject. This is based on the scored probabilities column. If the scored probability of a subject is larger than the threshold, it is predicted as positive (>50K of an income). Otherwise, it is predicted as negative (<=50K of an income);
- In second added column, scored probabilities shows the probability that a subject belongs to the positive class. Which means if the first number in the column is 0.038015 there is 0.038015 probability that the first subject belongs to positive class on the ROC curve (shown in Figure 4).

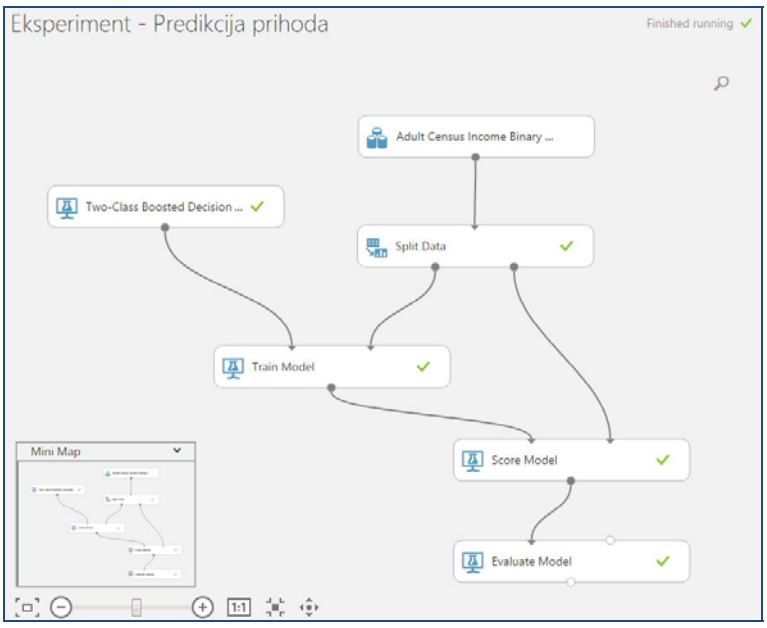


Figure 2: Accomplished machine learning computation

Eksperiment - Predikcija prihoda › Score Model › Scored dataset

rows 9768 columns 17

age	workclass	fnlwgt	education	education-num	marital-status	occupation	relationship	race	sex	capital-gain	capital-loss	hours-per-week	native-country	income	Scored Labels	Scored Probabilities
37	Private	205339	HS-grad	9	Divorced	Craft-repair	Not-in-family	White	Male	0	0	49	United-States	<=50K	<=50K	0.038015
25	Private	394503	Some-college	10	Married-civ-spouse	Sales	Husband	White	Male	0	0	40	United-States	<=50K	<=50K	0.120344
56	Private	147989	Some-college	10	Married-spouse-absent	Transport-moving	Not-in-family	White	Male	0	0	40	United-States	<=50K	<=50K	0.053951
56	Private	169133	HS-grad	9	Married-civ-spouse	Other-service	Husband	White	Male	0	0	50	Yugoslavia	<=50K	<=50K	0.164289
57	Self-emp-inc	127728	Prof-school	15	Married-civ-spouse	Prof-specialty	Husband	White	Male	15024	0	60	United-States	>50K	>50K	0.999274

Figure 3: Extended dataset visualization

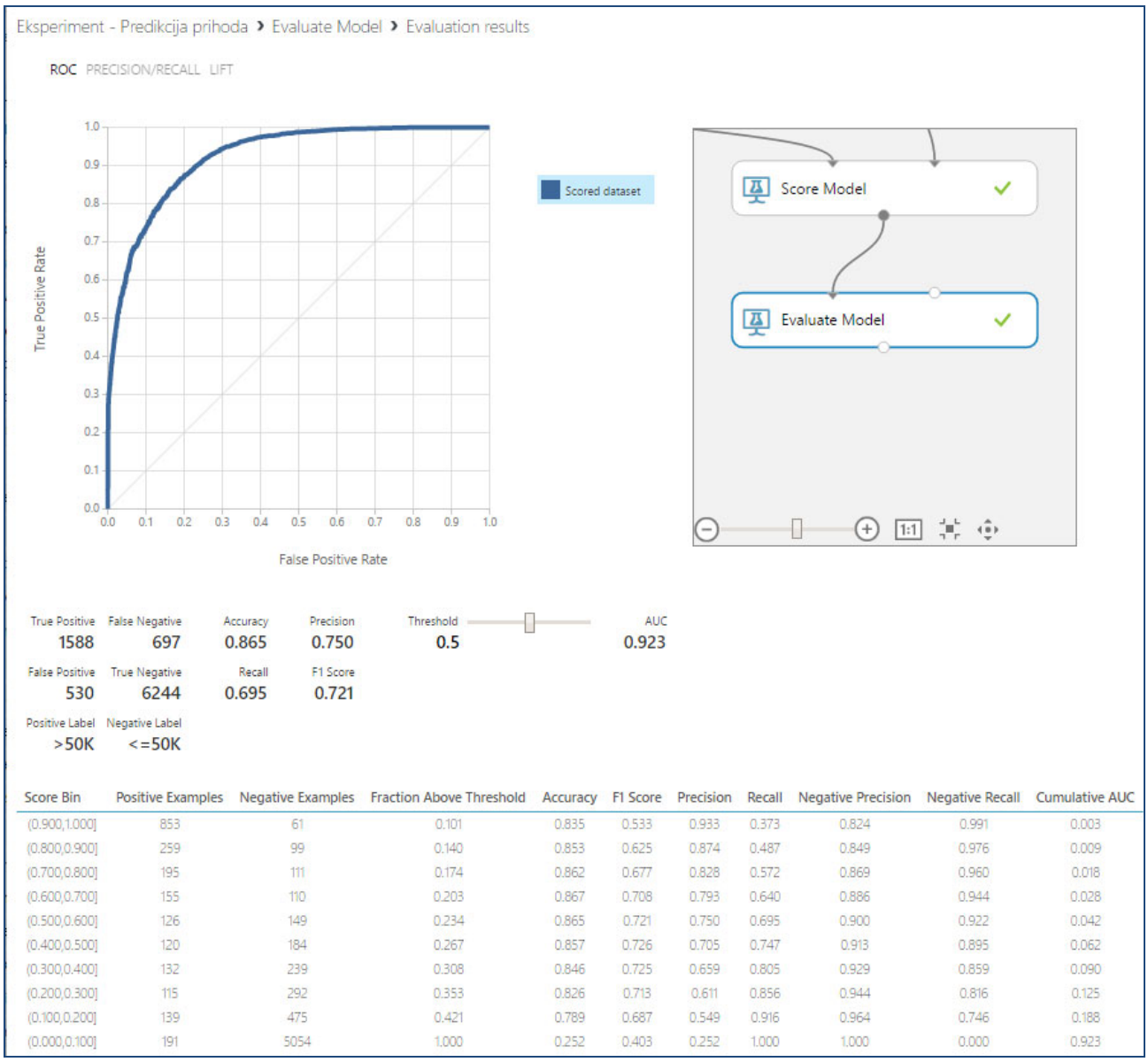
4. RESULTS ANALYSIS

In the analysis and evaluation of the experiment carried out using the ML Studio, a Receiver Operating Characteristic Curve – ROC is displayed and illustrates the ability of a binary classifier system as its discrimination threshold (shown in Figure 4). Its represents the ratio of the thrue positive – TP (probability of detection) rate and false positive – FP rate (false alarm). In this experiment, true positive rate and the probability of detection shown quality results because sensitivity in the ROC space is very high. The area under the curve – AUC, on the other hand, showed the normalization of the result, the surface below the curve, and it is that the built-in model will randomly rank the selected positive instances that are larger than the randomly selected negative instance assuming – the positive range in front of the negative one (0.923 – almost the highest result).

Also, there are some more elements in this experiment that should be analyzed (Microsoft 2017). There are the following:

- Accuracy that measures the goodness of a classification model as the proportion of true results to total cases is 0.865, which is near ideal;
- Precision which is the proportion of true results overall positive results are 0.750 and it's very high;
- Recall which is the fraction of all correct results returned by the model is 0.695;
- F-score that is computed as the weighted average of precision and recall, which is in this case 0.721, where the ideal F-score value is 1.

Overall review of the analysis: By analyzing such high results, the use of physically collected public administration data, would probably result in much lower values.



Score Bin	Positive Examples	Negative Examples	Fraction Above Threshold	Accuracy	F1 Score	Precision	Recall	Negative Precision	Negative Recall	Cumulative AUC
(0.900,1.000]	853	61	0.101	0.835	0.533	0.933	0.373	0.824	0.991	0.003
(0.800,0.900]	259	99	0.140	0.853	0.625	0.874	0.487	0.849	0.976	0.009
(0.700,0.800]	195	111	0.174	0.862	0.677	0.828	0.572	0.869	0.960	0.018
(0.600,0.700]	155	110	0.203	0.867	0.708	0.793	0.640	0.886	0.944	0.028
(0.500,0.600]	126	149	0.234	0.865	0.721	0.750	0.695	0.900	0.922	0.042
(0.400,0.500]	120	184	0.267	0.857	0.726	0.705	0.747	0.913	0.895	0.062
(0.300,0.400]	132	239	0.308	0.846	0.725	0.659	0.805	0.929	0.859	0.090
(0.200,0.300]	115	292	0.353	0.826	0.713	0.611	0.856	0.944	0.816	0.125
(0.100,0.200]	139	475	0.421	0.789	0.687	0.549	0.916	0.964	0.746	0.188
(0.000,0.100]	191	5054	1.000	0.252	0.403	0.252	1.000	1.000	0.000	0.923

Figure 4: Evaluation results

5. CONCLUSION

The objective of the research is focused on deploying predictive Big Data analytics solutions in public administration using the dataset that is integrated into the proposed framework. Machine learning model has been chosed and dataset analyzed for forecasting income based on demographic characteristics and available information integrated into the dataset such as age, profession, education, occupation, material status, etc.

There are possible limitations referred to this study. Firstly, the dataset that was used for deploying predictive analytics solution is public and integrated into the represented framework. Secondly, in order to successfully analyze data and disseminate knowledge to offer value, organizations need to have an appropriate Big Data framework that is able to combine multiple independent sources of different data for creating machine learning model. The selected algorithm for performing an experiment of data analysis might not be able to process the very large datasets that some linear learners can handle because method enables learning where the second tree corrects the errors of the first, the third tree corrects errors of the first and second, and so on. And in that order, if the greater volume and variety of the dataset that is ready for processing and deploying, there are greater possibilities for finding hidden insights into patterns. Further, the established workflows of the organization are then confronted to require data scientists with sufficient skills who will be responsible for the implementation, integration, processing, visualization, and quality of the Big Data analytics. Also, poorly identified input data will result in low-quality results no matter how proper the Big Data solution is (Erl *et al.* 2016). Furthermore, there are a number of policy challenges in enforcing legal regulations need to be applied and which, inter alia, concern the implementation of the Big Data environment

in public administration (Klievink *et al.* 2017), including the following: 1) secure access, dissemination, and management of large datasets; 2) storage and archiving; 3) subjects privacy and data security.

With the goal to demonstrate the possibility of deploying predictive Big Data analytics model in public administration, the further work is, set up, run and deliver an experiment as a web service based on the built-in model for machine learning, and creating the ML model with multiple algorithms in a single experiment in order to compare and evaluate the results.

REFERENCES

[1] Toffler, A. (1970). Future shock. (1th ed.). New York: Random House Inc.

[2] Holdren, J. P., Lander, E., & Varmus, H. (2010). Report to the president and congress: Designing a digital future: federally funded research and development in networking and information technology. Executive Office of the President and President's Council of Advisors on Science and Technology.

[3] Laney, D. (2001). 3D data management: Controlling data volume, velocity and variety. META Group Research Note, 6, 70.

[4] Kankanhalli, A., Hahn, J., Tan, S., & Gao, G. (2016). Big data and analytics in healthcare: introduction to the special section. Information Systems Frontiers, 18(2), 233-235.

[5] Bertot, J. C., & Choi, H. (2013). Big data and e-government: issues, policies, and recommendations. In Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research (pp. 1-10). ACM.

[6] Wohlsen, M. (2012). Big data helps farmers weather drought's damage. Wired (September 6). Last accessed May, 31, 2017.

[7] Centers for Disease Control and Prevention. (2015). CDC's Climate-Ready States and Cities Initiative.

[8] Kim, K., Chien, S. I. J., & Spasovic, L. N. (2011). Evaluation of Technologies for Freeway Travel Time Estimation: Case Study of I-287 in New Jersey. In Transportation Research Board 90th Annual Meeting (No. 11-2629).

[9] Bisciglia, C. (2009). The smart grid: Hadoop at the tennessee valley authority (TVA). Blog of Cloudera, Inc., USA: https://blog.cloudera.com/blog/2009/06/smart-grid-hadoop-tennessee-valley-authority-tva.

[10] Obama, B. (2009). Transparency and open government. Memorandum for the heads of executive departments and agencies.

[11] Chen, C. P., & Zhang, C. Y. (2014). Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data. Information Sciences, 275, 314-347.

[12] Murphy, K. P. (2012). Machine learning: a probabilistic perspective. MIT press.

[13] Klievink, B., Romijn, B. J., Cunningham, S., & de Bruijn, H. (2017). Big data in the public sector: Uncertainties and readiness. Information Systems Frontiers, 19(2), 267-283.

[14] https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/ (2017-7-12).

[15] Tu, Z. (2005). Probabilistic boosting-tree: Learning discriminative models for classification, recognition, and clustering. In Computer Vision, 2005. ICCV 2005. Tenth IEEE International Conference on (Vol. 2, pp. 1589-1596). IEEE.

[16] https://msdn.microsoft.com/en-us/library/azure/dn905915.aspx (2017-4-27).

[17] Erl, T., Khattak, W., & Buhler, P. (2016). Big data fundamentals: concepts, drivers & techniques. Prentice Hall Press.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PROJEKAT IMPLEMENTACIJE ASOCIJATIVNIH PRAVILA NA PRIMERU TEKSTILNE INDUSTRIJE

PROJECT OF IMPLEMENTATION OF ASSOCIATION RULES IN TEXTILE INDUSTRY

VIŠNJA ISTRAT[1], DAJANA MATOVIĆ[2]

[1]Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, visnja.istrat@gmail.com
[2]OŠ 'Dragan Lukić', Beograd, matovicdajana85@gmail.com

***Apstrakt**: Prodajni procesi u tekstilnoj industriji utiču na kupce, efikasno upravljanje zalihama tržištu i maksimizaciju profita. Cilj istraživanja je analiza transakcija iz baze podataka tekstilne industrije kako bi se pronašli šabloni u ponašanju kupaca i poboljšao model odlučivanja. Asocijativna pravila, jedna od najznačajnijih tehnika za otkrivanje zakonitosti u podacima, se koriste kao metodologija za učenje pravila i šablona na tržištu koji se pojavljuju u prodaji u tekstilnoj industriji koja poboljšava efikasnost i efektivnost procesa odlučivanja.*

***Ključne reči**: asocijativna pravila, odlučivanje.*

***Abstract:** Sales processes in textile industry affect to customers, efficient supply management and profit maximization. The goal of the research is analysis of transactions from databases of textile industry in order to find patterns in customer behaviour and improve decision-making model. Association rules as one of the most significant data mining technique is used as methodology for making rules and patterns on the market of textile industry and to improve efficienty of decision-making process.*

***Keywords:** association rules, decision-making.*

1. UVOD

U istraživanju je korišćen set podataka od 2000 transakcija iz oblasti tekstilne industrije Jugoistočne Evrope gde je predložen koristan pristup za otkrivanje efektivnog znanja u podacima povezanim sa prodajom. Prikazuju se interesantna pravila zavisnosti parametara *Support*, *Confidence*, *Lift* i *Leverage* i kreiranje specijalizovane ponude u tekstilnoj industriji.

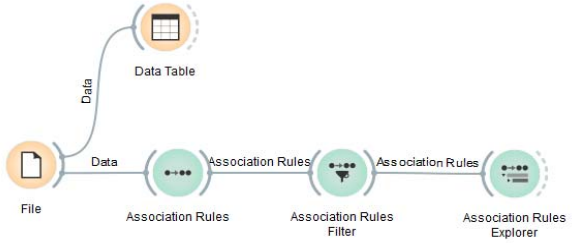
Podaci korišćeni za ovo istraživanje su povezani sa transakcijama u tekstilnoj industriji. Ukupno 2000 transakcija je obrađeno nad podacima realnih poslovnih sistema tekstilne industrije Jugoistočne Evrope u periodu od šest meseci. Atributi podataka su podeljeni u šest kategorija: nivo kupovine (veoma visok, visok, srednji i niski nivo transakcija), održavanje vlakana (na veoma visokom nivou, visokom, srednjem i niskom), broj tekstila (dva, tri, četiri i pet), broj kupaca (dva, tri, četiri), veličina vlakna (mala, srednja i velika) i kvalitet vlakna (niski, srednji i visoki). Podaci su opisani kvalitativnim putem sa četiri prideva: tačan, netačan, dobar i veoma dobar. Glavna hipoteza istraživanja je dokazivanje da asocijativna pravila imaju značajno važnu primenu u tekstilnoj industriji stvarajući šablone iz baza podataka koja vode do efikasnog odlučivanja. Eksperiment je izveden u realnom poslovnom okruženju. Videti više u (Istrat, 2017). Posebna hipoteza eksperimenta je dokazivanje da li dobijeni rezultati asocijativnih pravila u tekstilnoj industriji su zavisni od definicije parametara *Support* i *Confidence* i na koji način. Istraživanje o primeni tehnika za otkrivanje zakonitosti u podacima u prodaji se može videtiu (Berry & Linoff, 2004).

Pri pretprocesuiranju podataka provereno je da li su autlajeri zastupljeni u primeru i u kojoj meri. Pokazalo se da nema nestandardnih podataka koji bi mogli da utiču na kvalitet modela. Istraživanje o primeni asocijativnih pravila u tekstilnoj industriji može se videti u (Lee, 2015).

2. MODELOVANJE REŠENJA

Podaci će biti obrađeni numeričkim putem da bi se osigurao kvantitativni aspekt istraživanja putem metoda poslovne inteligencije. Softver za otkrivanje zakonitosti u podacima *Orange* će se koristiti da bi se osigurala IT komponenta istraživanja i proces odlučivanja. Više o softveru *Orange* videti u (http://orange.biolab.si/). Apriori algoritam će se primeniti za kreiranje asocijativnih pravila (Srikant & Agrawal, 1997).

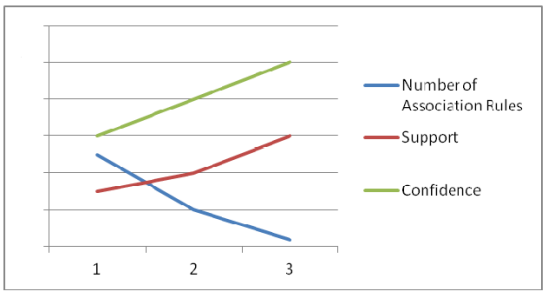
Atributi, pod-atributi i rezultati istraživanja će biti opisani da bi se osigurao kvalitativni aspekt savremenog odlučivanja. Više o odlučivanju videti u (Suknović & Delibašić, 2010). Rezultati će se analizirati da bi se potvdila ili opovrgla glavna hipoteza istraživanja. Dobijena asocijativna pravila pomažu menadžerima u odlučivanju pružajući relevantne podatke o potrošačkim navikama kupaca. Više o menadžmentu videti u (Draker, 2003). Kao kriterijum za selekciju pravila postavlja se *Support* na minimum 15% i *Confidence* na minimum 30%. Istovremeno, povećava se *Support* na 20% i *Confidence* na minimum 40%. Konačno, povećava se *Support* na minimum 30% i *Confidence* na minimum 50%. Rezultati su snimljeni i analizirani. Na Slici 1 prikazan je kreiran model asocijativnih pravila u softveru *Orange Canvas*.



Slika 1: Kreiran model asocijativnih pravila u softveru *Orange Canvas*

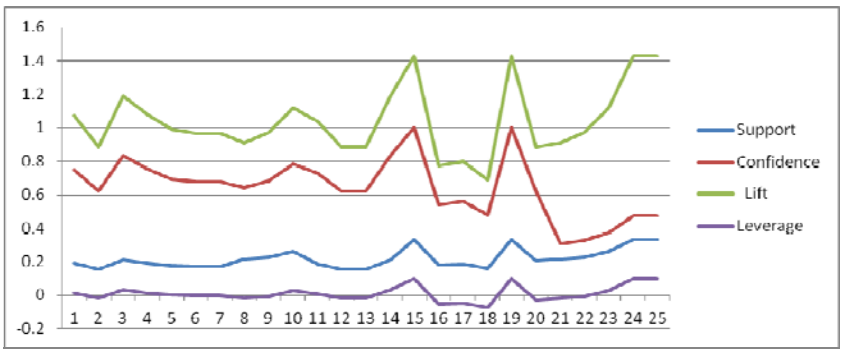
3. TOK ISTRAŽIVANJA

Promena predefinisanih parametera rezultovala je promenom broja dobijenih asocijativnih pravila. O osnovama asocijativnih pravila videti u (Zhang &Wu, 2011). Slika 2 jasno prikazuje zavisnost između broja dobijenih asocijativnih pravila i promene predefinisanih *Support* i *Confidence* parametara (analizirane su tri predefinisane promene). Veće vrednosti parametara *Support* i *Confidence* rezultovale su manjim brojem asocijativnih pravila. Više o asocijativnim pravilima videti u (Ledoltel, 2013).



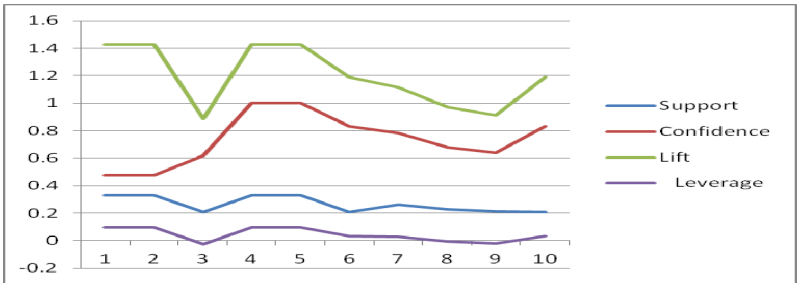
Slika 2: Pregled zavisnosti asocijativnih pravila i promene parametara

Slike broj 3, 4 i 5 prikazuju vrednosti svih 4 parametara (*Support*, *Confidence*, *Lift* i *Leverage*) i njihove promene. Na Slici 3 sa najvećim brojem asocijativnih pravila uočavaju se najveći skokovi parametara. Na Slici 4 prikazan je manji broj asocijativnih pravila koja su rezultovala konstantnim vrednostima parametara (sa manjim skokovima vrednosti parametara). Na Slici 5 prikazan je primer dva asocijativna pravila sa dve jednake vrednosti. Više o asocijativnim pravilima videti u (Tewari *et al*, 2014). Kao kriterijum za selekciju pravila postavljen je *Support* na minimum 15% i *Confidence* na minimum 30%. Slika 3 prikazuje da pravila broj petnaest i devetnaest imaju najveće skokove vrednosti parametera. Odnosno, postoji najveća verovatnoća da se ova dva pravila pojave u bazi podataka. Ako kupac kupi tekstil koji se sastoji od dve vrste tkanina (pravilo broj petnaest), tada će najverovatnije odlučiti da kupi ono koje je iz klase ”*netačan*”. Ako kupac kupi tekstil niskog kvaliteta (pravilo broj devetnaest), tada će najverovatnije odlučiti da kupi tekstil iz klase ”*netačan*”.



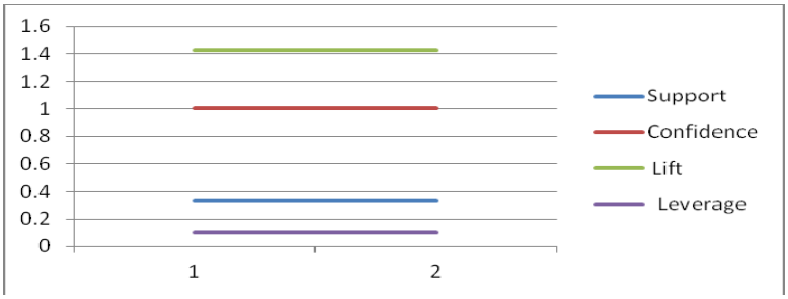
Slika 3: Pregled parametara za 25 asocijativnih pravila

Povećava se *Support* na minimum 20% i *Confidence* na minimum 40%. Slika 4 prikazuje vrednosti parametara za dobijenih deset asocijativnih pravila. Uočava se da pravilo broj 3 ima najveći pad parametara od svih ostalih vrednosti (*Lift*, *Support* i *Leverage*). *Lift* ima najveći pad, prema pravilu broj 3. Uočava se i da pravilo broj 4 i pravilo broj 5 imaju najveće vrednosti sva četiri parametra i izdvajaju se kao najjača pravila. Postoji najveća mogućnost da se pravilo broj 4 i pravilo broj 5 pojave u bazi podataka.



Slika 4: Pregled parametara za 10 asocijativnih pravila

Konačno, povećava se *Support* na minimum 30% i *Confidence* na minimum 50%. Slika 5 prikazuje dva dobijena asocijativna pravila sa istim vrednostima za sva četiri parametra. Postoji ista verovatnoća da će se ova dva pravila pojaviti. Zaključuje se da visoke vrednosti predefinisanih parametara (*Support* i *Confidence*) uzrokuju male brojeve dobijenih asocijativnih pravila.



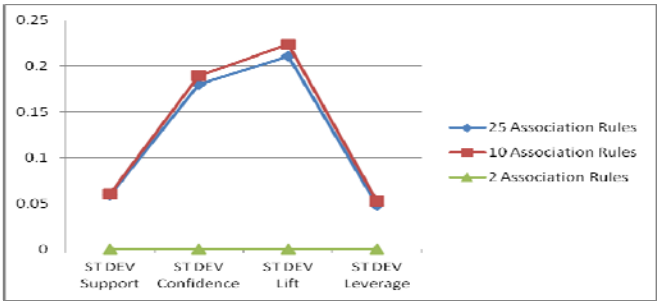
Slika 5: Pregled parametara za 2 asocijativna pravila

Tabela 1 prikazuje standardne devijacije parametara *Support*, *Confidence*, *Lift* i *Leverage* za sve tri predefinisane promene parametara. Uočava se da treća promena parametara koja rezultuje sa dva asocijativna pravila pokazuje najpreciznije merenje (standardna devijacija je nula). Zatim, uočava se da parameter *Leverage* na drugoj predefinisanoj promeni koja je rezultovala sa deset asocijativnih pravila je veoma precizna (standardna devijacija je 0.05), kada se poredi sa drugim vrednostima parametara.

Tabela 1: Standardna devijacija parametara *Support*, *Confidence*, *Lift* i *Leverage*

Number of Association Rules	ST DEV Support	ST DEV Confidence	ST DEV Lift	ST DEV Leverage
25	0.05	0.17	0.21	0.04
10	0.06	0.18	0.22	0.05
2	0	0	0	0

Na Slici 6 je grafički pregled vrednosti standardne devijacije sva četiri parametra. Uočava se da najveću vrednost standardne devijacije ima *Lift* parametar (na primeru od dvadeset pet i od deset pravila). To znači da je ovaj parametar najmanje precizan. Standardna devijacija parametra *Leverage* ima najnižu vrednost (na primeru od dvadeset pet i od deset pravila). Standardna devijacija sva četiri parametra (na primeru od dva parametra) je nula, zato što su svi rezultati u distribuciji realni. Niska standardna devijacija pokazuje precizniji metod koji je korišćen.



Slika 6: Pregled vrednosti standardne devijacije sva četiri parametra

Izvršena je evaluacija rešenja putem softvera *Orange* i čvora *Test Learners*. Tačnost izgrađenog modela iznosi 0.79, što pokazuje da u približno 80% slučajeva model je tačan. Nivo tačnosti modela je zadovoljavajući.

4. ZAKLJUČAK

Praktična primena istraživanja pruža prednost kada se kreira efikasan industrijski ekosistem tekstila. Multidisciplinaran pristup istraživanja pruža zavisnost između poslovne inteligencije, upravljanja ljudskim resursima, tekstilne industrije i modernih IKT tehnologija u kreiranju efektivnog poslovnog sistema sa višestrukim benefitima. Problem koji je diskutovan u istraživanju rezultuje sa preporukama dobijenih asocijativnih pravila koja se mogu koristiti kao vodič za analizu ponašanja kupaca. Tada se prodaja može organizovati bolje putem prodajnih objekata sa specijalizovanom ponudom da bi se povećala kupovina i profit. Rezultati pokazuju da veće vrednosti parametara (*Support*, *Confidence*, *Lift* i *Leverage*) rezultuju sa manjim brojem dobijenih asocijativnih pravila. Rezultati istraživanja mogu uticati na menadžment zbog preciznog stvaranja znanja iz baza podataka i bolje alokacija resursa specijalizovanih prema potrebama kupaca. Jedan od pravaca za buduća istraživanja može biti upotreba asocijativnih pravila za kreiranje poboljšanog modela prodaje u tekstilnoj industriji za bolju organizaciju i distribuciju lanca snabdevanja u tekstilu i resursa i efikasnog menadžmenta sistema. Preporuka za buduće istraživanje je kreiranje komercijalnog modela odlučivanja primenjenog na tržišta različitih poslovnih sistema. Značaj multidisciplinarnog pristupa je objašnjen – zavisnost između odlučivanja, poslovne inteligencije, upravljanja ljudskim resursima, tekstilne industrije i modernih IKT je pokazana kao efikasna za menadžment poslovnih sistema.

LITERATURA

[1] Srikant, R., Agrawal, R., (1997), "Mining generalized association rules", *Future Generation Computer Systems,* Volume: 13, Issue: 2-3, Pages: 161-180, DOI: 10.1016/S0167-739X(97)00019-8

[2] Istrat, V., (2017), "Unapređenje modela poslovnog odlučivanja sistemom asocijativnih pravila", doktorska disertacija, FON, Beograd.

[3] Suknović M., Delibašić B., (2010), Poslovna inteligencija i sistemi za podršku odlučivanju, *FON*, Beograd.

[4] Draker, P., (2003), „Upravljanje u novom društvu", *Adižes*, Beograd.

[5] Berry, M, Linoff, G, Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Relationship Management, *Wiley Publishing Inc*, USA, 2004.

[6] Ledoltel, J., "Market Basket Analysis: Association Rules and Lift", Data Mining and Business Analytics with R (2013) , *Publisher: John Wiley & Sons, Inc*., Pages: 220-234, ISBN: 9781118596289, DOI: 10.1002/9781118596289.ch16

[7] Zhang, S., Wu, X., "Fundamentals of Association Rules in Data Mining and Knowledge Discovery", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* (2011), Volume: 1, Issue: 2, Pages: 97-116, ISSN: 19424787, ISBN: 1942-4795, DOI: 10.1002/widm.10

[8] Lee, K. H. C. (2015). Development of an intelligent system for quality assurance in the garment industry (Doctoral dissertation, The Hong Kong Polytechnic University).

[9] Tewari, A. S., Kumar, A., & Barman, A. G. (2014, February). Book recommendation system based on combine features of content based filtering, collaborative filtering and association rule mining. In *Advance Computing Conference (IACC), 2014 IEEE International* (pp. 500-503). IEEE.

[10] http://orange.biolab.si/

2017

POSLOVNA ANALITIKA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

EFIKASNOST I USPEH SREDNJIH ŠKOLA PRI UPISU NA FAKULTET

EFFICIENCY AND SUCCESS OF HIGH SCHOOLS ACCORDING TO FACULTIES' ENROLMENT

MILAN RADOJIČIĆ[1], GORDANA SAVIĆ[2] ALEKSANDAR ĐOKOVIĆ[1], VELJKO JEREMIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, milan.radojicic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, goca@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, djokovic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, jeremicv@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ideja rada je da se predloži mogući koncept za merenje efikasnosti srednjih škola uzimajući u obzir.uspešnost učenika pri upisu na fakultet. Primenjena je najpoznatija metoda za merenje efikasnosti neprofitnih organizacija - Analiza obavijanja podataka (Data Envelopment Analysis - DEA). Predložena su dva modela u zavisnosti od toga kako su shvaćeni ulazi i izlazi i urađena je uporedna analiza ta dva modela. Doneseni su određeni zaključci vezani kako za pojedine škole, tako i za regione u kojima se škole nalaze.*

Ključne reči: *efikasnost srednjih škola, DEA, upis na fakultet.*

Abstract: *This paper proposes a possible concept for measuring high school efficiency considering the sucees of students on the entry test for the enrolment to the faculty The most widely used method for measuring the efficiency of non-profit organizations - Data Envelopment Analysis (DEA) is applied. Two models were proposed, depending on how the inputs and outputs were understood, and a comparative analysis of the results of these two models is made. Conclusions is drawn regarding individual schools and regions where schools are located.*

Keywords: *high schools efficiency, DEA, faculty enrolment.*

1. UVOD

Obrazovanje je u svakom društvu veoma bitan segment u koji neprestano treba ulagati. Srednje škole predstavljaju neprofitne organizacije, koje se finansiraju od strane države. Cilj srednjeg obrazovanja je da osposobi pojedinca za obavljanje konkretne delatnosti u društvu (ukoliko se radi o stručnim školama) ili da ga pripremi i omogući mu osnovna znanja za dalje fakultetsko doškolovljavanje (gimnazije). Stoga, je vrlo značajno znati prepoznati koji su to kriterijumi za evaluaciju stečenih znanja i kvaliteta nastavnog procesa.

Kako vrednovati uspeh jedne škole? Da li se njen uspeh meri uspehom njenih učenika, ili njenih nastavnika? Da li uključiti i spoljne faktore koji se odnosne na sportska dostignuća, lične osobine i socijalni status učenika? Sve su to pitanja na koja nije jednostavno dati odgovor. Takođe, učenici upisuju srednje škole sa različitim nivoima predznanja, pa samim tim, ni konačan rezultat njihovog uspeha ne može se okarkterisati samo kao doprinos srednje škole. Ukoliko bi smo mogli da izvršimo rangiranje škola, prema različitim kriterijumima, imali bi smo jasniju sliku šta je sve to što može da utiče na uspeh pojedinca. Kada bi sve bitne informacije za jednu školu, njene učenike i nastavno osoblje bile javno dostupne, mogao bi se pratiti uspeh škole kroz godine i moglo bi se praviti poređenje sa drugim školama. Na taj način, bilo bi jasnije u kojoj meri to što se dešava u školi ima uticaj na uspeh učenika. Upoređivanjem trenutnih rezultata škole sa onima od ranijih godina, uvidelo bi se da li se rad škole poboljšava. Upoređivanjem sa školama u okolini mogu se identifikovati „bolje prakse" i uspešno primeniti i u sopstvenoj organizaciji. Ukupne rezultate jedne škole treba postaviti na njeno mesto u odnosu na sve škole u sistemu. Između ostalog rangiranje srednjih škola može da pomogne roditeljima i đacima da odaberu odgovarajuću školu, ali i da se unapredi rad tih škola.

Ne postoji jedinstven način na osnovu koga bi se moglo izvršiti rangiranje škola. De Vite i Lopez Tores su u svom radu napravili pregled celokupne literature koja se bavi merenjem efikasnosti u obrazovanju (De Witte and Lopez-Tores 2017). Pokazali su da je najčešći metodološki pristup, pri merenju efikasnost obrazovnih institucija, bio korišćenje Analize obavijanja podataka (Data Envelopment Analysis - DEA). Iz

njihovog rada, takodje, možemo da vidimo da su faktori, koji različiti autori koriste kao ulaze, odnosno izlaze, krajnje raznovrsni. Dosta zavisi od toga, na kom obrazovnom nivou se meri efikasnost (da li su u pitanju, razredi, škole, fakulteti, gradovi, ili pak države). Što se tiče ulaza, jedan od najčećih je prethodno obrazovanje. Široko se koriste i demografske promenljive kao na primer nacionalna pripadnost. Neki autori uključuju i socio-ekonomski status i obrazovanje roditelja. Najčešći faktori koji se odnose na obrazovnu ustanovu, a da se koriste kao ulazi su broj nastavnika i resursi ustanove. Međutim, pokazano je da ti faktori koji se odnose na obrazovnu ustanovu nemaju značajnu ulogu u rezultatima koje učenici postižu (Worthington 2001, Hanushek 2003). Autori smatraju i da bi se geografski položaj i broj drugih obrazovnih ustanova u okolini trebalo uzimati kao ulaz, iako nema mnogo radova koji uključuju i te faktore. Što se tiče izlaza, tu je značajno veće slaganje među autorima, pa se tako najčešće u obzir uzima broj učenika koji su uspešno maturirali i prosek ocena učenika.

Jedan od načina za određivanje uspeha srednjih škola, može da predstavlja uspeh njenih učenika na prijemnom ispitu za željeni fakultet. (Grujčić *et al*. 2010) su merili efikasnost beogradskih mašinskih tehničkih škola. Koristili su DEA metodu, ulazno orijentisani model, sa konstantnim prinosom na obim. Ulazi su im bili proporcionalni broj zaposlenih (broj nastavnika koji proporcionalno odgovara skupu učenika), kvalitet učenika na ulazu (broj bodova koji su učenici imali pri upisu u srednju školu) i ocena opremljenosti škole (subjektivna i objektivna ocena kvaliteta uslova rada). Izlazi su bili procenat diplomiranih učenika (količnik broja diplomiranih i ukupnog broja učenika te generacije koji su upisali srednju školu), broj diplomiranih učenika (uveden zbog diskriminacije velikih škola) i kvalitet učenika na izlazu (prosečan broj bodova koji su maturanti škole postigli pri upisu na Mašinski fakultet). Zaključak rada je bio da efikasnost beogradskih mašinskih tehničkih škola nije zadovoljavajuća i da ima tendeciju pada.

Ovaj rad predstavlja pokušaj da se poveća svest o potrebi evaluacije srednjih škola. Za razliku od gore navedenog istraživanja gde su analizirane samo srednje stručne škole, u ovom radu su obuhvaćene sve škole čiji su kandidati aplicirali na jedan Fakultet Univerziteta u Beogradu. Efikasnost je takođe merena uz pomoć DEA metode, korišćenjem dva modela, koja se razlikuju po tome da li se broj poena na prijemnom ispitu posmatra kao izlaz ili kao ulaz. Rad je dalje struktuiran tako što se u sledećem poglavlju daje detaljan prikaz DEA metode, treće poglavlje predstavlja analizu rezultata, a četvrtim poglavljem se daju buduće smernice i zaključuje rad.

2. METODOLOGIJA

Analiza obavijanja podataka (Data Envelopment Analysis - DEA) je najpopularnija metoda za procenu efikasnosti kompleksnih entiteta (Savic *et al*. 2012, Radovanovic *et al*. 2013, Radojicic *et al*. 2016). To je neparametarska metoda koja omogućava merenje efikasnosti jedinica odlučivanja (Decision Making Units - DMU), poredeći ih sa drugim jedinicama nekog sistema, koje koriste iste ulaze za proizvodnju istih izlaza. Od 1978. kada je prvi put definisana od strane (Charnes *et al*. 1978), pa do danas, DEA je primenjena u više od 6500 publikacija (Liu *et al*. 2016). Do 1995. godine broj objavljenih radova godišnje, sa temom vezanom za DEA metodu imao je eksponencijalni rast. Zaključno sa 2007. godinom, broj različitih autora koji su se bavili DEA problematikom je 2500 (Emrouznejad *et al*. 2008). Razlozi popularnosti i naglog rasta DEA metode mogu se pronaći u činjenici da je ona uspešno primenljiva na najrazličitije oblasti.

Prvobitna namena DEA metode je bila evaluacija efikasnosti neprofitinih organizacija za koje je teško izmeriti izlaze (Savic *et al*. 2012, Sueyoshi and Goto 2013). DEA je pogodna za merenje efikasnosti u onim sistemima gde se razmatra više ulaza i više izlaza. Ti ulazi i izlazi po svojoj prirodi mogu biti raznorodni i izražavaju se u različitim mernim jedinicama. Za svaku od posmatranih jedinica, moguće je izračunati efikasnost i tako izračunate efikasnosti se mogu iskoristiti za utvrđivanje redosleda jedinica. Očigledno je da na ovaj način izvršeno rangiranje zavisi od vrednosti ulaza i izlaza jedinica, ali i od vrednosti koje su dodeljene za težinske koeficijente. Tvorci DEA metode su pošli od pretpostavke da pri oceni efikasnosti, ne mora postojati objektivan postupak za određivanje vrednosti težinskih koeficijenata. To znači da metoda dopušta svakoj DMU, da za sebe odredi najpovoljniju kombinaciju težina, za sopstvene ulaze i izlaze, u cilju maksimizacije efikasnosti.

Osnovni DEA model – CCR (Charnes, Cooper and Rhodes, 1978) pretpostavlja konstantan prinos na obim, što znači da povećanje/smanjenje ulaza rezultuje proporcionalnom povećanju/smanjenju izlaza.

Pretpostavimo da $DMU_j (j = 1, \dots, n)$ koristi ulaze $x_{ij} (i = 1, \dots, m)$ za proizvodnju izlaza $y_{rj} (r = 1, \dots, s)$. Izlazno orijentisani DEA model ima sledeći oblik:

$$
\begin{aligned}
&(\min) h_k = \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} \\
&p.o. \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} = 1 \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \ldots, n \\
&u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \ldots, s \\
&v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \ldots, m
\end{aligned} \tag{1}
$$

gde je h_k mera relativne efikasnosti DMU_k, u_r je težina dodeljena izlazu r, a v_i je težina dodeljena ulazu i.

3. ANALIZA I REZULTATI

Podaci nad kojima je izvršena analiza su preuzeti iz upisne baze za 2017/2018. godinu, jednog od fakulteta Univerziteta u Beogradu. Sve statističke analize su izvršene posredstvom IBM SPSS Statistics 22 softvera, dok je za analizu efikasnosti korišćen DEA Solver (Cooper *et al.* 2006). Analizirane su samo one srednje škole iz kojih je bilo bar 20 prijavljenih kandidata, pa je tako u analizu uključeno 25 srednjih škola. Ukupan broj prijavljenih kandidata iz tih 25 škola je iznosio 47.55% od ukupnog broja svih prijavljenih kandidata na Fakultet. Od pet statističkih regiona (koliko ih ima u Srbiji), zastupljene su samo škole tri regiona, odnosno nijedna srednja škola iz Vojvodine, kao ni sa Kosova i Metohije nije imala bar 20 prijavljenih kandidata za upis na Fakultet.

Za analizu efikasnosti srednjih škola, korišten je izlazno orijentisani CCR DEA (Charnes, Cooper and Rhodes, 1978) model. Posmatrana su dva modela podataka. Prema prvom (CCR-M1) modelu škola je posmatrana kao uslužna institucija i ulazi su:

- broj prijavljenih kandidata
- prosečna vrednost zaključnih ocena u I razredu srednje škole
- prosečna vrednost zaključnih ocena u II razredu srednje škole
- prosečna vrednost zaključnih ocena u III razredu srednje škole
- prosečna vrednost zaključnih ocena u IV razredu srednje škole

Izlazi su predstavljeni kroz:

- broj učenika škole koji su stekli uslov za budžet
- broj učenika škole koji su stekli uslov za samofinansiranje
- prosečan broj poena na prijmnom ispitu iz matematike

Broj prijavljenih kandidata i prosečne ocene iz svakog razreda predstavljaju potencijal za ostvarivanje rezultata u daljem školovanju odnosno srednja škola se posmatra kao uslužna institucija.

Drugi model (CCR-M2), se razlikuje od prvog modela, po tome što je u njemu „prosečan broj poena na prijemnom ispitu iz matematike“, posmatran kao ulaz. U ovom slučaju se srednja škola posamtra kao posrednik gde se na osnovu potencijala koji poseduje (broj prijavljenih kandidata, njihov rezultat iz srednje škole i ostvren rezultat na prijemnom ispitu) ostvaruje rezultat (upis na fakultet na teret budžeta ili samofinsiranje). Osnovna ideja je da se ispita razlika u oceni efikasnosti između dva izabrana modela.

U prvom koraku je izvršena analiza ulaznih podataka Tabela 1. prikazuje koeficijente varijacije (KV) zaključnih ocena kandidata, po školama, kao i KV broja poena na prijemnom ispitu iz matematike. Iz Tabele 1. se uočava da varijabilitet zaključnih ocena po razredima, nije veliki po svim školama. Jedino škola S11, regiona Beograd, za prvi razred ima nešto veću meru disperzije. Najmanju relativnu meru disperzije ima S18 (jedna od ukupno dve škola iz regiona Južne i Istočne Srbije) za četvrti razred. Kada se pogledaju pojedinačni podaci o kandidatima, primetno je da je to škola sa najvećim procentualnim brojem odličnih (5,00 uspehom) đaka. Moglo bi se pretpostaviti da učitelji u toj školi imaju tendeciju da poklanjaju đacima odlične ocene na kraju četvrtog razreda.

Varijabilitet broja poena na prijemnom ispitu iz matematike je dosta veći kod svih škola, u odnosu na zaključne ocene po razredima. Interesanto je da škola S18 ima niži varijabilitet od većine ostalih srednjih škola, kada je u pitanju prosečan broj poena na prijemnom ispitu. Uvidom u pojedinačne rezultate kandidata sa prijemnog ispita, donosi se upravo takav zaključak, jer učenici iz S18 škole su ostvarili treći najbolji prosek poena na prijemnom ispitu iz matematike, što znači da su ti učenici ipak zaslužili tu svoju najvišu ocenu koju su dobili u četvrtom razredu srednje škole. Najmanju relativnu meru disperzije broja poena na

prijemnom ispitu iz matematike ima škola S11, koja je ujedno i škola sa čiji su đaci u proseku najbolje uradili prijemni ispit iz matematike.

Tabela 1: Koeficijent varijacije po školama

Region	Srednja škola	KV (I)	KV (II)	KV (III)	KV (IV)	KV (POENI)
Beograd	S1	9.99%	10.02%	9.76%	7.46%	46.20%
Beograd	S2	8.48%	7.45%	8.37%	9.49%	55.32%
Beograd	S3	6.40%	6.89%	7.78%	6.55%	47.26%
Beograd	S4	10.99%	11.46%	12.26%	6.85%	65.18%
Beograd	S5	12.30%	10.42%	11.96%	14.58%	47.60%
Beograd	S6	14.04%	11.13%	14.95%	14.52%	48.28%
Beograd	S7	12.35%	12.46%	9.74%	9.35%	48.20%
Beograd	S8	13.99%	10.30%	9.68%	11.17%	52.31%
Beograd	S9	6.94%	6.54%	6.93%	7.27%	46.92%
Beograd	S10	9.60%	9.63%	10.15%	8.07%	43.46%
Beograd	S11	16.72%	13.69%	10.97%	11.26%	43.44%
Beograd	S12	13.21%	10.75%	13.63%	10.84%	48.53%
Beograd	S13	10.93%	8.92%	10.03%	9.79%	47.43%
Beograd	S14	9.63%	9.48%	11.53%	10.64%	36.02%
Beograd	S15	12.09%	9.83%	9.96%	7.31%	61.36%
Beograd	S16	13.86%	13.57%	11.72%	10.98%	47.00%
ŠZS*	S17	9.59%	8.10%	10.30%	7.20%	37.54%
JIS**	S18	9.14%	8.38%	11.05%	4.46%	38.87%
JIS	S19	10.90%	8.16%	9.31%	9.86%	39.73%
ŠZS	S20	10.31%	9.98%	10.86%	9.54%	62.66%
ŠZS	S21	9.40%	7.12%	7.98%	7.47%	45.74%
ŠZS	S22	7.61%	7.03%	7.56%	6.59%	48.58%
ŠZS	S23	11.33%	11.97%	10.13%	7.62%	56.83%
ŠZS	S24	11.94%	12.03%	11.03%	9.96%	51.37%
ŠZS	S25	10.88%	12.05%	11.24%	12.09%	38.22%
Prosek		10.91%	9.89%	10.36%	9.24%	48.16%

*Šumadija i Zapadna Srbija
**Južna i Istočna Srbija

Tabela 2. prikazuje relativnu efikasnost srednjih škola primenom DEA metode. Dat je uporedni prikaz efikasnosti i rangiranja dobijen na osnovu dva modela podataka.

Tabela 2: Efikasnost škola

Region	Srednja škola	CCR-M1 Efikasnost	RANG CCR-M1	CCR-M2 Efikasnost	RANG CCR-M2
Beograd	S1	100.00%	1	100.00%	1
Beograd	S2	82.40%	17	72.25%	17
Beograd	S3	88.47%	13	65.91%	18
Beograd	S4	80.21%	18	57.27%	21
Beograd	S5	87.56%	14	73.04%	16
Beograd	S6	95.42%	10	78.94%	13
Beograd	S7	56.02%	25	27.39%	25
Beograd	S8	75.66%	20	59.10%	20
Beograd	S9	75.23%	21	89.01%	8
Beograd	S10	82.92%	16	60.92%	19
Beograd	S11	97.79%	9	77.49%	14
Beograd	S12	78.68%	19	79.89%	12
Beograd	S13	83.96%	15	87.16%	10
Beograd	S14	100.00%	1	100.00%	1

Beograd	S15	71.31%	22	49.09%	23
Beograd	S16	100.00%	1	100.00%	1
ŠZS	S17	100.00%	1	100.00%	1
JIS	S18	100.00%	1	88.70%	9
JIS	S19	92.87%	12	75.48%	15
ŠZS	S20	61.26%	24	38.18%	24
ŠZS	S21	100.00%	1	100.00%	1
ŠZS	S22	99.77%	8	93.41%	7
ŠZS	S23	70.82%	23	54.26%	22
ŠZS	S24	93.86%	11	96.52%	6
ŠZS	S25	100.00%	1	86.80%	11

Iz Tabele 2. se uočava da CCR-M1 model ima veću prosečnu efikasnost nego CCR-M2 model (86.97% prema 76.43%). To znači da su srednje škole relativno efikasnije u slučaju kada se prosečan broj poena na prijemnom ispitu iz matematike posmatra kao izlaz, a ne kao ulaz odnosno može se reći da su srednje škole u proseku efikasnije kao uslužne insitucije.

Prema CCR-M1 modelu dobijeno je 7 efikasnih srednjih škola. Samo tri (od ukupno 16) su iz beogradskog regiona, jedna je iz regiona Južne i Istočne Srbije (S18), dok su tri iz Šumadije i Zapadne Srbije. Efikasnost po regionima iznosi – 84.73% region Beograd, 89.39% region ŠZS, 96.44% region JIS. Srednja škola sa njamanjom efikasnošću prema CCR-M1 modelu je S7, koja se nalazi u beogradskom regionu.

Prema CCR-M2 modelu dobijeno je manje efikasnih srednjih škola nego u CCR-M1 modelu. Pet škola (S1, S14, S16, S17 i S21) su efikasne prema oba modela, dok S18 i S25 nije efikasno u CCR-M2 modelu. Nijedna škola beogradskog regiona nije postala neefikasna prema drugom modelu, dok je po jedna škola iz druga dva regiona od efikasne, prešla u neefikasne. Srednja škola sa najmanjom efikasnošću i prema CCR-2 modelu je S7. Efikasnost po regionima za CCR-M2 model iznosi – 73.59% region Beograd, 81.31% region ŠZS, 82.02% region JIS. Dakle, i po CCR-M2 modelu najveću prosečnu efikasnost ima region JIS, zatim region ŠZS, dok je region Beograd poslednji. Međutim, taj pokazatelj se ne bi smeo uzeti kao statistički značajan jer broj škola iz druga dva regiona nije reprezentativan. Ova tvrdnja je potkrepljena sa rezultatima Man-Vitni U testa, gde je pokazano da nema statistički značajne razlike u efikasnosti srednjih škola koje se nalaze u regionu Beograd, u odnosu na ostale regione (p>0.05).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu se merila efikasnost srednjih škola, u pogledu uspešnosti njenih učenika prilikom upisa na fakultet. Efikasnost je merena uz pomoć DEA metode. Korištena su dva modela, u zavisnosti od toga da li se broj poena na prijemnom ispitu iz matematike tretira kao ulaz u (CCR-M1) ili izlaz (CCR-M2). Oba modela su izlazno orijentisani modeli sa konstantnim prinosom na obim. Prema prvom modelu (broj poena na prijemnom ispitu iz matematike se posmatra kao ulaz), škole ostvaruju veću prosečnu efikasnost. Pet srednjih škola su efikasne prema oba modela. Izvršeno je rangiranje škola uzimajući rezutate oba modela u obzir i nisu uočene veće razlike. Najveće razlike se odnose na dve škole koje su bile efikasne u CCR-M1 modelu, ali su po CCR-M2 modelu neefikasne. One su sa prve pozicije pale na devetu i jedanaestu poziciju.

Iako deskriptivna statistika pokazuje razlike u efikasnosti srednjih škola, između regiona, ta razlika se nije pokazala kao statistički značajna. Koeficijent varijacije je pokazao da se najveće razlike među kandidatima, prilikom rangiranja na konačnim rang listama za upis na fakultet, ostvaruju na samom prijemnom ispitu. Osim toga, uspeh na prijemnom ispitu se vrednuje većim ponderom (0.6) nego uspeh u srednjoj školi (0.4) pa se zbog toga može postaviti i pitanje, koliko uopšte konačna ocena iz srednje škole ima uticaj na konačan plasman kandidata.

Analiza je obuhvatila samo jednu upisnu godinu, pa su samim tim iz analize isključene neke škole koje nisu imale dovojan uzorak kandidata. Pravac budućeg istraživanja bi trebao da ide ka tome da se analiza proširi sa većim brojem upisnih godina, kako bi se uključile i druge srednje škole, a i dobila jasnija slika o efikasnosti.

Treba imati u vidu da je analiza rađena bez ograničavanja težina, što znači da je svaka jedinica odlučivanja (škola) imala slobodu da za sebe odabere najpovoljniju kombinaciju težinskih koeficijenata ulaza i izlaza. Zbog toga nije moguće napraviti jasnu distinkciju među efikasnim školama, odnosno neke škole su u potpunosti ignorisale pojedine ulaze i/ili izlaze, kako bi maksimizirale svoju efikasnost. Jedino sa sigurnošću može da se tvrdi da su neefikasne škole, stvarno neefikasne, jer ni pod kojim uslovima ne mogu

da dostignu granicu efikasnosti. U planu je da se u nekom narednom istraživanju ova analiza ponovi korišćenjem nekog DEA modela sa ograničavanjem težina, gde bi se izbeglo dodeljivanje "nula" vrednosti određenim ulazima i/ili izlazima, odnosno svaki ulaz i izlaz bi imao određeni značaj prilikom merenja efikasnosti.

LITERATURA

[1] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.

[2] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. Springer Science & Business Media.

[3] De Witte, K., & López-Torres, L. (2017). Efficiency in education: a review of literature and a way forward. Journal of the Operational Research Society, 68(4), 339-363.

[4] Emrouznejad, A., Parker, B. R., & Tavares, G. (2008). Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. Socio-economic planning sciences, 42(3), 151-157.

[5] Grujčić, Ž., Cvijanović, J. M., & Lazić, J. (2010). Efficiency of Belgrade's secondary schools of mechanical engineering. Industrija, 38(4), 95-112.

[6] Hanushek, E. A. (2003). The failure of input-based schooling policies. The economic journal, 113(485).

[7] Liu, J. S., Lu, L.Y., & Lu., W. M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. Omega, 58, 33-45.

[8] Radojicic, M., Djokovic, A., & Jeremic, V. (2016). Evaluating football plazers efficiency using different multivariate analysis approaches. Proceedings of the 43rd Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2016, Tara, Serbia, 607-610.

[9] Radovanović, S., Radojičić, M., Jeremić, V., & Savić, G. (2013). A novel approach in evaluating efficiency of basketball players. Management, 18(67), 37-45.

[10] Savic, G., Radosavljevic, M., & Ilievski, D. (2012). DEA Window Analysis Approach for Measuring the Efficiency of Serbian Banks Based on Panel Data. Management, 17(65), 5-14.

[11] Sueyoshi, T., & M. Goto. (2013). Returns to scale vs. damages to scale in data envelopment analysis: An impact of US clean air act on coal-fired power plants. Omega, 41(2), 164-175.

[12] Worthington, A. C. (2001). An empirical survey of frontier efficiency measurement techniques in education. Education economics, 9(3), 245-268.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OPTIMIZACIJA NIVOA ZADOVOLJENJA TRAŽNJE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

OPTIMIZATION OF CUSTOMER'S DEMAND FULLFILMENT LEVEL IN FOOD INDUSTRY

KATARINA OREŠČANIN[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, k.orescanin@gmail.com

Rezime: *Predmet istraživanja ovog rada je problem održivanja optimalnog nivoa zadovoljenja tražnje kupaca u situaciji kada ne može da se zadovolji celokupna tražnja. U radu se posmatra preduzeće koje se bavi preradom i izvozom voća i suočava se sa ovim problemom. Nemogućnost zadovoljenja tražnje se najvećim delom ogleda kroz nedostatak potrebnih kapaciteta. S obzirom da preduzeće nije u mogućnosti da proširi kapacitet, postavlja se pitanje kako da zadovoljenje zahtevane tražnje kupaca bude na što većem nivou. U ovom radu je formulisan originalan matematički model kojim se postiže maksimizacija ispunjenja tražnje kupaca. Pored ulaznih parametara kao što su: tražnja, nabavljena količina, procenat voća koji treba da se odvoji za povlašćene kupce, vrlo važan ulazan podatak je efikasnost kupca. Na osnovu njega se određuje u kom procentu će određenom kupacu biti zadovoljena tražnja. Efikasnost kupca je određena pomoću DEA metode. Formulisani pristup u rešavanju ovog problema je ilustrovan na realnim podacima. Za rešavanje modela i razvoj aplikacije korišćeni su softver GLPK u MS Access.*

Ključne reči: *nivo zadovoljenja tražnje, optimizacija, DEA.*

Abstract: *The subject of a research in this paper is the problem of defining optimal level of fulfillment customer's demand when it is not possible to fulfill complete customer's demand. We observe a real problem of the particular company, which deals with fruit processing and export of frozen fruits. The main reason of company's inability for satisfying customer's demand is the lack of capacity in the production. The expansion of company's production capacity is not possible. In this paper is formulated original mathematical problem whose objective is to maximize the level of fulfillment customer's demand. The parameters for this model are: customer's demand, the volume of supplied goods, the percentage of separated fruit for the special customers and the most important customer's efficiency. The last parameter is defining the percentage of fulfillment of customer's demand for different fruits. The efficiency is calculated by DEA. In this research are used real data. GLPK is used for solving the problem and MS Access for developing the applicatione.*

Keywords: *customer's demand fulfillment level, optimization, DEA.*

1. UVOD

U Republici Srbiji postoji veliki broj preduzeća koja se bave preradom voća i često se suočavaju sa problemom nepotpunog zadovoljenja tražnje. Preduzećima, koja se nalaze u pomenutoj oblasti, je poznato da voće kao predmet rada predstavlja neku vrstu berzanske robe, čija količina i kvalitet zavise od mnogih stohastičkih faktora, a najviše od vremenskih prilika.. Područje istraživanja ovog rada je optimizacija zadovoljenja tražnje kupaca u situaciji kada je tražnja veća od ponude u prehrambenoj industriji tj. u domenu zamrznutog voća. Cilj ovog istraživanja je da se formuliše metodologija za maksmiziranje nivoa zadovoljenja tražnje kupaca (Customer Service Level – CSL), koja se može koristiti za unapređenje rešavanja pomenutog problema. Nivo zadovoljenja tražnje (CSL) se može definisati na dva načina: preko zadovoljenja broja porudžbina i preko poručenih količina (Sawik, 2017). U ovom radu se CSL posmatra na osnovu poručenih količina, odnosno kao odnos poručenih i količina proizvoda koje su sa zaliha isporučene kupcu (Ramezani, Bashiri & Tavakkoli-Moghaddam,2013). U lietaraturi se može naći veći broj radova koji rešavaju ovaj problem kao optimizacioni (Merzifonluoglu, Geunes, 2006; Meyr, 2009; Sawik, 2007; Xiao, Taaffe, 2010) ali se mali broj odnosi na oblast prehrambene industrije (Babarogić et al. 2012; Suksa-ard, 2013). U oblasti prehrambene industrije su mnogo češći optimizacioni problem koje se odnose na izbor dobavljača (Chaudhry, 1993) ili optimalnog nivoa zaliha (Basnet, 2005; Rungreunganaun, 2013).

Metodologija koja se predlaže u ovom radu se sastoji iz dve faze. U prvoj fazi se određuje efikasnost kupaca, koja se u drugoj fazi koristi kao ulazni parametar u matematičkom modelu. Za određivanje vrednosti ovog parametra korišćena je Analiza obavijanja podataka (DEA - *Data Envelopment Analysis*). Matematički model kojim se maksimizira nivo zadovoljenja kupaca je rešavan pomoću programa GLPK (*GNU Linear Programming Kit*), koji je kasnije povezan sa aplikacijom kreiranoj u programu MS Access. Ova aplikacija omogućava korisnicima, bez poznavanja matematičkog modeliranja, da na osnovu unetih vrednosti ulaznih parametara dođu do optimalnih rezultata.

Struktura rada je organizovana na sledeći način: nakon uvodnog dela u Poglavlju 2 daje opis problema rešavanog u ovom radu i metodologija njegovog rešavanja. U Poglavlju 3 su prikazani rezultati dobijeni nad realnim podacima. Zaključna razmatranja su prikazana u Poglavlju 4.

2. OPIS PROBLEMA I METODOLOGIJA

Predmet razmatranja u ovom radu je realni problem koji je uočen u preduzeću za preradu i prodaju voća u Republici Srbiji. Osnovna delatnost preduzeća je prerada i smrzavanje voća, a nakon toga izvoz smrznutog voća. Preduzeće tokom sezone (jun, jul, avgust i prva polovina septembra) nabavlja voće. Količina koju će nabaviti zavisi od raspoložive količine na tržištu, kao i od cene. Kasnije se vrši prodaja kupcima. Odluka o izboru kupaca kao i količini koja će biti prodata zavisi uglavnom od načina na koji kupac posluje sa preduzećem, pri čemu donosilac odluke pred sobom nema konkretne podatke o poslovanju sa konkretnim kupcem, već se odluka najčešće donosi intuitivno i na osnovu iskustva.

Cilj ovog rada je da se intuitivno odlučivanje smanji i da u odlučivanju učestvuje i preporuka na osnovu kvantitativne analize. Predložena metodologija je pogodna za preduzeća koja se bave voćem ili nekom drugom vrstom robe za koju se može smatratiti da ima berzanski karakter.Osnovna karakteristika poslovanja posmatranog preduzeća je da je tražnja uvek veća od količine koje preduzeće ima na raspolaganju. Odluka koju tom prilikom treba doneti je: tražnju kojih kupca i u kom obimu treba zadovoljiti. Pri tome je poznato koliko je voća koje vrste na skladištu kao i pojedinačne tražnje kupaca za svakom vrstom voća. Pošto nema dovaljnih količina, nije moguće zadovoljiti svu tražnju. S druge strane, nisu svi kupci jednako važni za preduzeće. Među njima je moguće odrediti prioritet na osnovu kriterijuma: broj različitih vrsta voća koje poručuju, broj porudžbina u posmatranom periodu, ukupna količina i ukupna vrednost kupljenih proizvoda i prosečan broj dana koji je potreban kupac izmiri svoje dugovanje. Na osnovu dobijenog prioriteta, za svaku grupu kupaca je moguće odrediti zagarantovani procenat tražnje koji će biti zadovoljen.

Metodologija koja je definisana kao podrška u donošenju odluka o količinama koje treba isporučiti kupcima, tako da se maksimizira nivo zadovoljenja tražnje, sastoji se iz dve faze. U prvoj fazi se primenom DEA metode, ocenjuje efikasnost kupaca. DEA se može smatrati specijalno dizajniranom tehnikom za merenj efikasnosti kompleksnih entiteta sa raznorodnim ulazima i izlazima. Na osnovu rezultata ovakve analize može se odrediti koliko su pojedine jedinice i kojima se odlučuje neefikasne u odnosu na jedinice koje su efikasne. Ova metoda je neparametarska jer koristi pristup za izučavanje efikasnosti koji višestruke ulaze svodi na jedan „virtuelni“ ulaz i višestruke izlaze svodi na jedan „virtueni“ izlaz koristeći težinske koeficijente. Problem dodeljivanja težina je rešen tako što je svakoj jedinici dopušteno da odredi sopstvenu težinu sa ciljem da joj se maksimizira efikasnost. Ograničenje za težine cu ograničenje nenegativnosti i da količnik virtuelnog izlaza i virtuelnog ulaza za svaku jedinicu ne može biti veći od 1 (Savić, 2011).

Efikasnost kupaca će dalje biti osnova za dodeljivanje prioriteta kupcima u određivanju količina za isporuku, odnosmp za određivanje tzv. povlašćenih kupaca. Za dobijanje vrednosti efikasnost kupaca korišćeni su sledeći ulazno/izlazni parametri:

- broj vrsta voća koje se poručuju – ulaz
- broj poručivanja – ulaz
- ukupna količina – izlaz
- ukupna vrednost – izlaz
- prosečan broj dana koji je potreban za naplatu prodate robe – izlaz

Jedinice odlučivanaj (eng.. *Decision Making Units - DMU*) su kupci, kojih ukupno ima četrnaest. Druga faza metodologije podrazumeva rešavanje matematičkog modela. Prilikom formulisanja matematičkog modela korišćena je notacija prikazana u nastavku:

Skupovi:

N- skup kupaca, $i \in N$

V – skup vrsti voća, $j \in V$

Upravljačke promenljive:

x_{ij} – predstavlja prodatu količinu vrste voća po kupcu,; definisana je kao celobrojna promenljiva

z_{ij} – procenat zadovoljenja tražnje po vrsti voća i kupcu

Parametri:

s_j – nabavljena količina j-te vrste voća

mp_j– procenat j-tog voća koje treba izdvojiti za povlašćene kupce

t_{ij} – predviđena tražnja i-tog kupca za j-tim voćem

a_i – efikasnost i-tog kupca (rezutat DEA metode)

Matematički model optimizacije nivoa zadovoljenja tražnje kupaca je formulisan na sledeći način:

$$\max \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{V} z_{ij} \tag{1}$$

p.o.

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} \le s_j, \quad j \in V \tag{2}$$

$$x_{ij} - z_{ij} \cdot t_{ij} = 0, \; i \in N, j \in V \tag{3}$$

$$mp_j \cdot a_i - z_{ij} \le 0 \quad i \in N, j \in V \tag{4}$$

$$x_{ij} - t_{ij} \le 0, \; i \in N, j \in V \tag{5}$$

$$0 \le z_{ij} \le 1, \; i \in N, j \in V \tag{6}$$

Fukcijom cilja (1) se maksimizira ukupno zadovoljenje tražnje. Ograničenje (2) obezbeđuje da ukupna prodata količina isporučena svim kupcima, za svaku vrsta voća mora biti manja ili jednaka od ukupne količine j-te vrste nabavljenog voća. Ograničenje (3) povezuju promenljive koje predstavljaju isporučenu količinu i procenat zadovoljenja tražnje. Ograničenje (4) obezbeđuju minimalni nivo zadovoljenja tražnje kupaca, vodeći računa o povlašćenim kupcima. Parametar a_i koji predstavlja efiikasnost kupaca, će za efikasne kupce imati vrednost 1 i ti kupci će dobiti zagarantovani procenat svoje tražnje, definisan parametrom mp_j, ili veći. Tražnja ostalih kupaca će biti zadovoljena proporcionalno njihovoj efiskasnosti. Ograničenje (5) onemogućva da ostvarena prodaja po i-tom kupcu i j-toj vrsti voća bude veća od tražnje. Ograničenje (6) predstavlja gornje ograničenje promenljive koja predstavlja procenat zadovoljenja tražnje kupaca.

3. NUMERIČKI REZULTATI

U nastavku će biti prikazani rezultati eksperimenata koji su izvršeni rad realnim podacima za tri uzastopne godine (2014, 2015 i 2016 godinu) preduzeća u Republici Srbiji koje se bavi preradom i prodajom voća. Razmatrano je 14 stalnih kupaca posmatranog preduzeća. Broj kupaca ovog preduzeća je mnogo veći ali su za analizu izdvojeni stalni kupci koji po obimu tražnje predstavljaju ključne kupce čije zadovoljenje tražnje treba pažljivo isplanirati.

Metodologija rešavanja problema optimizacije zadovoljenja tražnje kupaca, koja je predstavljena u prethodnom poglavlju, sadrži dve faze. U prvoj fazi je određena vrednost efikasnost kupca pomoću DEA metode. Vrednosti ulaza i izlaza, kao i efikasnost kupaca dobijena na osnovu DEA metode, su prikazani u Tabeli 1. Zbog ograničenog prostora, u tabelama su prikazani podaci samo za 2016. godinu.

Kao što je pomenuto u prethodnom poglavlju, prve tri kolone u Tabeli 1 (prosečan broj dana koji je potreban za plaćanje, ukupna količina i ukupna vrednost poručenog voća) predstavljaju izlaze u DEA metodi a druge dve kolone (raznovrsnost voća, tj. broj vrsta voća koje se poručuju i broj poručivanja) predstavljaju ulaze. U poslednjoj koloni je prikazana efikasnost kupaca dobijena pomoću DEA metode, koja dalje u matematičkom modelu predstavlja vrednost parametra a_i na osnovu koga se određuju zagarantovane količine

voća koje će biti isporučene kupcima. Za razliku od ostalih vrednosti u tabeli, poslednja kolona predstavlja rezultat dobijen na osnovu podataka iz sve tri godine posmatranja.

Tabela 1: Vrednosti parametara i rezultata DEA metode

Kupci	Prosečan br. dana koji je potreban za plaćanje	Ukupna količina (kg)	Ukupna vrednost (n.j.)	Raznovrsnost voća	Broj poručivanja	Parametar a_i
1.	90.375	392,530	88,319.25	1	32	1.00
2.	75.5	137,090	89,824.00	3	12	0.65
3.	79.25	11,250	20,758.75	3	4	0.73
4.	76.15	51,276	71,230.19	3	13	0.63
5.	72	23,750	6,412.50	1	2	0.66
6.	51	51,010	92,588.25	2	5	0.75
7.	56	30,000	51,100.00	1	4	0.73
8.	88.35	226,921	339,137.62	5	29	0.76
9.	82.2	216,993	308,367.45	4	30	0.84
10.	60.2	50,000	61,750.00	2	5	0.74
11.	90.06	390,350	130,228.25	4	33	0.63
12.	56.13	395,400	196,948.50	4	39	0.62
13.	38.75	31,050	51,537.40	2	4	0.88
14.	76.09	260,903	359,080.31	5	47	0.80

U Tabeli 2 je prikazana tražnja kupaca za pojedinim vrstama voća, raspoloživa količina voća na skladištu (parametar s) i vrednost parametra mp_j (koja je određena iskustveno). Osim u dva slučaja, raspoloživa količina je uvek manja od tražnje što dovodi do toga da neki od kupaca ne mogu dobiti zahtevanu količinu voća.

Tabela 2: Tražnja po kupcima i vrstama voća, raspoložive količine i vrednosti za mp_j

Kupac	Borovnica (t)	Jagoda (t)	Kupina (t)	Malina (t)	Šipurak (t)	Šljiva (t)	Višnja (t)
1	16.340	0	506.650	24.867	0	0	0
2	0	24.123	46.292	48.734	0	55.387	31.704
3	4.000	0	1.667	9.334	0	0	0
4	17.603	3.020	16.026	44.198	0	0	0
5	0	0	6.400	0	0	0	0
6	0	0	40.414	0	0	0	0
7	0	450	2.833	36.667	0	0	0
8	10.287	5.227	15.464	246.973	300	1.714	0
9	11.253	0	68.229	221.108	0	4.180	7.734
10	3.833	0	40.000	7.834	0	0	0
11	0	58.000	90.567	47.667	0	0	271.934
12	16.667	3.919	373.327	51.667	28.000	0	0
13	1.280	0	2.533	33.494	0	0	0
14	15.123	21.754	37.959	234.425	0	0	0
s	200	55	400	500	30	50	80
mp	1	0,47	0,31	0,47	1	0,8	0,25

Optimizacijom modela (1-6) za date parametre, pomoću programa GLPK dobijeno je rešenje prikazano u Tabeli 3. Vrednosti u tabeli predstavljaju procenat zadovoljene tražnje po kupcima i po vrstama voća. Prazna polja u tabeli se odnose na vrste voća za kojima nije postojala tražnja kod posmatranog kupca. Na osnovu rezultata, može se uočiti da je kupac 1, koji je na osnovu rezultata DEA metode, efikasan (vrednost

parametra a_i u Tabeli 1 je jednaka 1), u slučaju borovnice i kupine dobio zagarantovane količine (vrednost parametra *mp* u Tabeli 2), dok je u slučaju maline dobio više od zagarntovane . S druge strane, procenat zadovoljenja tražnje kupca 11, koji je na osnovu rezultata DEA metode, jedan od najmanje efikasnih kupaca (vrednost parametra a_i u Tabeli 1 je jednaka 0.63), jednak je 65% od zagarantovanih količina (*mp*) u slučaju svih vrta voća.

Tabela 3: Procenat zadovoljenja tražnje

Kupac	Borovnica	Jagoda	Kupina	Malina	Šipurak	Šljiva	Višnja
1	1		0,31	1			
2		0,3055	0,2015	0,3055		0,796	0,928
3	1		1	1			
4	1	1	1	0,8976			
5			1				
6			0,2325	1			
7		1	1	1			
8	1	1	1	0,3572	1	1	
9	1		0,2604	0,3948		1	1
10	1		0,7921	1			
11		0,2961	0,1953	0,2961			0,158
12	1	1	0,1922	0,2914	1		
13	1		1	1			
14	1	0,8201	1	0,376			

Nakon kreiranja matematičkog modela napravljena je aplikacija MS Access-u. Preko ove aplikacije, u kojoj korisnik nakon zadavanja vrednosti parametra modela (predviđena tražnja po kupcu i po vrsti voća, nabavljena količina odgovarajuće vrste voća), dolazi do rezultata o optimalnoj prodaji po kupcu i po vrsti voća. Rezultat modela omogućava da svi kupci budu zadovljeni što više je više moguće s obzirom na prethodno pomenuta ograničenja u modelu. Takođe moguće je generisati i različite izveštaje.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan problem optimizacije zadovoljenja tražnje kupaca u uslovima kada nije moguće u potpunosti zadovoljiti postavljenu tražnju kupaca. U takvim situacijama, glavni problem je odrediti koliki procenat tražnje zadovoljiti svakom od kupaca. Pristup koji je predložen u ovom radu se ovaj procenat zadovoljenja određuje na osnovu efikasnosti kupaca.

Za rešavanje postavljenog problema je definisana metodologija koja se sastoji iz dve faze: određivanje efikasnosti kupaca pomoću DEA metoda i određivanje optimalnih količina koje će biti isporučene kupcima. Za drugu fazu je formulisan originalan matematički model i kreirana aplikacija za njegovo rešavanje. Prednost ovog modela je u njihovoj primeni u prehrambenoj industriji ili u onim industrijama u kojima su ulazni proizvodi berzanskog karaktera. Nedostatak je nemogućnost u drugim oblastima. Ovaj problem je veoma specifičan zbog specifičnosti proizvoda čija je ponuda u potražnja na tržištu veoma dinamična. Kako bi optimizacija bila pristupačna korisnicima koji se ne bave modeliranjem, kreirana je aplikacija u MS Access-u. Ona omogućava korisnicima da se, na osnovu vrednosti parametara koji oni definišu, izvrši optimizacija, a nakon toga koriste rezultati za dalje analize na osnovu potreba korisnika.

LITERATURA

[1] Babarogić, S., Makajić-Nikolić, D., Lečić-Cvetković, D., & Atanasov, N. (2012). Multi-period customer service level maximization under limited production capacity. *International Journal of Computers Communications & Control*, *7*(5), 798-806.

[2] Basnet, C. &. (2005). Inventory lot-sizing with supplier selection. *Computers & Operations Research*, 1-14.

[3] Chaudhry, S. S. (1993). Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*, 52-66.

[4] Cooper, W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and its Uses with DEA-Solver Software and References*. New York: Springer.

[5] https://www.gnu.org/software/glpk/

[6] Merzifonluoğlu, Y., & Geunes, J. (2006). Uncapacitated production and location planning models with demand fulfillment flexibility. *International Journal of Production Economics*, *102*(2), 199-216..

[7] Meyr, H. (2009). Customer segmentation, allocation planning and order promising in make-to-stock production. *OR spectrum*, *31*(1), 229-256.

[8] Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 37(1), 328-344.

[9] Rungreunganaun, V. &. (2013). Applying Genetic Algorithms for Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection under Storage Capacity. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2-25.

[10] Savić, G. (2011). *Matematički modeli efikasnosti*. FON; Beograd.

[11] Sawik, T. (2007). Integer programming approach to reactive scheduling in make-to-order manufacturing. *Mathematical and Computer Modelling*, *46*(11), 1373-1387..

[12] Sawik, T. (2017). *Supply Chain Disruption Management Using Stochastic Mixed Integer Programming*. Cham: Springer.

[13] Suksa-ard, C. &. (2013). Market selection of refined palm oil based on balancing local demand satisfaction and exporting'. *In Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*., 806-818.

[14] Xiao, Y., & Taaffe, K. (2010). Satisfying market demands with delivery obligations or delivery charges. *Computers & Operations Research*, *37*(2), 396-405.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ODREĐIVANJE OPTIMALNE KOLIČINE SNABDEVANJA KORIŠĆENJEM SISITEMA PREDVIĐANJA

DETERMINATION OF OPTIMUM SUPPLY QUANTITIES USING THE FORECASTING SYSTEM

ANA BELIĆ

Fakultet organizacionih nauka, ana.belic90@gmail.com

Rezime: *Kompanije u savremenim uslovima poslovanja moraju konstantno ispunjavati tržišne zahteve i odolevati promenama koje se na njemu kao mestu sučenljavanja ponude i tražnje nameću. U okviru velikih prodajno orjentisanih sistema i specijalizovanih procesa kao što su nabavka i prodaja neophodno je planiranje optimalnih količina koje će se naručivati pri čemu će se maksimizovati profit, zadovoljiti tražnja, a troškovi svesti na najmanju moguću meru. U svrhu planiranja optimalnih količina za naručivanje na primeru poslovnog sistema kompanije WinWin shop d.o.o Čačak primenjen je model prodavca kao sistemu koji u svojim kapacitetima poseduje lanac maloprodajnih objekata. Pored široke primeljivosti ove metode po osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da se model prodavca novina kao takav ne može primenti bez uzimanja u obzir ostalih faktora koji mogu uticati na tražnju. Sveobuhvatnom analizom dobijenih rezultata predloženi su koraci za dalji rad i primenu metodlogije koja će na najadekvatniji način odrediti optimalnu količinu.*

Ključne reči: *predvidjanje, model prodavca novina, korekcija modela,*

Abstract: *Under modern business conditions, companies must constantly meet market demands and resist changes in supply and demand. Within large sales-oriented systems and specialized processes, such as procurement and sales, it is necessary to plan optimal quantities to be ordered with maximizing profits, satisfying demand, and minimizing the costs as much as possible. In order to plan optimal quantities for ordering on the example of the business system "WinWin shop d.o.o. Cacak", the news vendor model was applied on the system that owns a retail chain. Beside a wide applicability of this method based on the obtained results, it has been established that the news vendor model as such can not be adapted without taking into consideration other factors that may affect demand. A comprehensive analysis of the obtained results suggests steps for further work and the application of the methodology which will determine the optimal quantity in the most adequate way.*

Key words: *foresight, new vendor model , model correction*

1. UVOD

Kompanije, posebno one velike prepoznale su da optimizacija lanaca snabdevanja može dovesti do velikih ušteda i smanjenja troškova (Archetti, Bertazzi, Laporte , 2002). Jedna od osnovnih problematika sa kojim se svaki prodajno orjentisan sistem susrece jeste optimalno planiranje količina koje će naručivati uzimajuci u obzir faktore efektivnosti, efikasnosti i profitabilnosti. Ovu situaciju dodatno otežavaju i razliciti ciljevi i zahtevi koje je potrebno istovremeno zadovoljiti, kao i tražnja koja se u većini slučajeva tretira kao stohastički proces u slučajevima kada artikli imaju sezonsku tražnju, kvarljiva roba, rezervni delovi za opremu koja nema stalnu proizvodnju. Kao model koji je nastao u svrhu planiranja količina za naručivanje koje če maksimizovati profit u okvirima jednog perioda očekivane tražnje izdvaja se model prodavca novina, Uopšteno u modelu kupac pokusava da balansira troškove nestašica i nedostataka određuvanjem najvišeg odgovarajuceg novoa zaliha u odnosu na progrnoziran. (Silver et al., 1998).

Sam naziv modela ukazuje na novine koje usled ograničenosti vremenog perioda u kome se može realizovati prodaja i zaradu po svakom prodatom primerku koju ostvaruje prodavac, a ujedno i gubitak po neprodatnom primerku ili u slučaju kada nije u stanju da zadovolji tražnju. U opstem slučaju model prodavca novina se može definisati kao model kojim teži da se maksimizuje očekivani profit tokom jednog perioda očekivane tražnje. (Archetti, Bertazzi, Laporte , 2002). U standradnom modelu kupac pokusava da balansira

troškove nestašica i manjaka zaliha, a obzirom na prognozu tražnje proizvoda i relevantne parametre troškova.

Ovaj problem je dostigao istorijski značaj, a prati se jos od ekonomsite Edgeworth (1888), koji je ovaj model primenio na primeru upravljanja novčanim tokovima u bankarstvu. Međutim, sve do 1950 godine kao i mnogi problemi i modeli operacionih istraživanja tek na primerima vojne industrije postaje predmet interesa brojnim istraživačima i akademicima. Nakon toga model prodavca novina širi svoju primenu, gde se kroz vreme modifikuje uzimajucu u obzir efekte cena (Porteus, 1990), navodjenje tražnje u funkciji prodajne cene proizvoda, (Mills 1959, 1962), a vemenom ovaj model postaje sve značajniji uzimajući u ubzir činjenicu da kod proizvoda na tržistu preovladavaju uticaji faktora modernosti i sezonalnosti. (Stalk et al 1990). Ovim odlikama prosiruje se primena i upotreba modela na brojne oblasti kao što je upravljanje kapacitetima i ocenjivanje napredne rezervacije naloga u uslužnim delatnostima kao što su avio kompanije i hoteli. (Weatherford, Pfeifer, 1994).

U okviru ovog rada biće prikazana primena modela prodavca novina na konkretnom problemu određivanja optimalnih količina naručivanja u okviru komanije Winwin shop d.o.o koja se sastoji iz lanaca maloprodajnih objekata širom Republike Srbije, a nabavka za potrebe istih koncenrisana je u okviru sektora nabavke odnosno *category* menadžera zaduženog za konkretnu grupu proizvoda. Pored prikazane primene samog modela, akcenat je stavljen i na ograničenost primene modela i faktore koji u određenoj meri ograničavaju primenu istih bez obzira na sezonalnost proizvoda, u ovom slučaju kosilica za travu koje se poručuju isključivo za letnju sezonu prodaje. Stoga se kroz istraživanje na realnom sistemu moraju odrediti i parametri koje treba uzeti u obzir prilikom određivanja optimalnih količina za naručivanje bez obzira na optimalnu vrednost dobijenu na osnovu modela. U konkretnom primeru donosilac odluke prilikom naručivanja količina za predstojeci period mora uzeti u obzir i ekspertske procene kao i rešavanje greske i statistike u greskama i pristpiti modifokaciji modela i parametara. U okviru rada bice prikazana modifikacija modela za uticajne parametre koji se reflektuju kroz količine za naručivanje.

2. METODOLOGIJA

Model prodavca novina se bazira na sledecim predpostavkama. Tražnja za robom u planskom periodu je slučajna promenljiva *x* sa poznatom funkcijom raspodele Φ(X) i gustinom raspodeleY (x). Razmatraju se troskovi nabavke i to samo prodajna cena robe (troškovi propreme se isključuju), troškovi držanja zaliha (koji se računaju samo za robu koja ostane neiskoriščena na kraju planskog perioda) i troškovi nedostatka zaliha taju vandredne tr. Jedinični troškovi nedostatka zaliha po jedinici proizvoda (Cp) veći su od cene robe c,cp vece od c i o buhavataju dodatne troškove vandrednih postupaka. (Krčevinac, Čangalović, Kovačević-Vujčić, Martić, Vujošević, 2006).

Ukoliko su poznati sledeci paramentri:

- c- jedinična nabavna cena (n.j – kom)
- ch- jedinični troškovi držanja zaliha (n.j – kom)
- cp- troškovi nedostatka zaliha

Funkcija gustine tražnje

Funkcija raspodele tražnje

1. X<Q , u ukupne troskove

Određivanje optimalne količine za naručivanje Q koja minimizira ukupne troškove C(Q, X)ulaze troskovi nabavke Q jedinice robe i troskovi drzanja zaliha koji se racubaju samo za kolicinu koja je na kraju posmatranog vremenoskog intervala naiskroiscena.

2. X>Q

Pored troskova nabavke jedini to ice robe Q javljaju se troskovi nedostatka zaliha i to za kolicinu nedostajucih zaliha.

Ukupni troskovi u funkcij i Q i x

- C (Q,x) = c Q + ch (Q-x) + Cp(x-Q)

Gde je

- (Q-x)= max $[(Q-x),0]$, (x-Q)= max $[(x-Q),0]$,

U slučaju kada je tražnja kontinualna očekivani troškovi kao funkcija gustine Q su:

- C (Q) = E [C(Q, x)] = c Q + ch $\int_0^Q (Q-x)$ Y(x) dx + cp $\int_0^Q (x-Q)$ Y(x) dx

Gde funkcija Φ (x) predstavlja funkciju raspodele, a Y(x) gustinu raspodele slučajne promenljive x, odnosno tražnje.
Optimalna vrednost Q′ koja minimizira Q (x) zadovoljava sledeći uslov

- $\Phi(Q') = \frac{Cp-c}{cp+ch}$, odnosno $Q' = \Phi^{-1}\left(\frac{cp-c}{cp+ch}\right)$

Ukoliko na početnku perioda postoji neki nivo zaliha z>0, rešenje se određuje na sledeći način

- Ako je z> Q′ treba naručiti količinu robe od Q′ , odnosno Q* -z,
- Ako je z≤ Q′ ne treba nista naruciti,

2.1 Korekcija modela

U svakom realnom poslovnom sistemu primena modela kao takvih analizom istorijskih podataka u najvećem broju slučajeva neće dati dobre rezultate. Stoga se pri formiranju prognoze moraju uzeti u obzir i ekspertske procene odnosno eksterni ulazi koji uticu na formiranje iste. (Vujosevic, 1997). Po formiranju prognoze u obzir se moraju uzeti i statističke greške, a potom se vrši modifikacija modela u skladu sa ulaznim parametrima kako bi se generisao izlaz koji odgovara što preciznjoj prognozi tražnje. U konkretnom slučaju, modelu prodavca novina biće pridodati i parametri koji dodatno mogu uticati i odrediti buduću tražnju prodajnih artikala iz kompanije. Na slici 1 je dat sistem predviđanja u preduzecu koji se može primeniti i na kompaniju WinWinw shop d.o.o. Na slici je prikazana primena modela u poslovnom predviđanju gde se pored istorijskih podataka moraju ukljuciti i ekspertske procene kako bi se isto odredilo na sto precizniji način.

Slika 1: Sistem predviđanja u preduzecu (Vujosevic, 1997)

Uticajni faktori

U – skup uticajnih faktora

U= (akcije, kupovne navike, vrema), i e U

k_i - korelacija traznje pod uticajem i – tog faktora

P- ukupna tražnja u posmatranom periodu

Q_i - promena prodaje pod uticajem i tog faktora

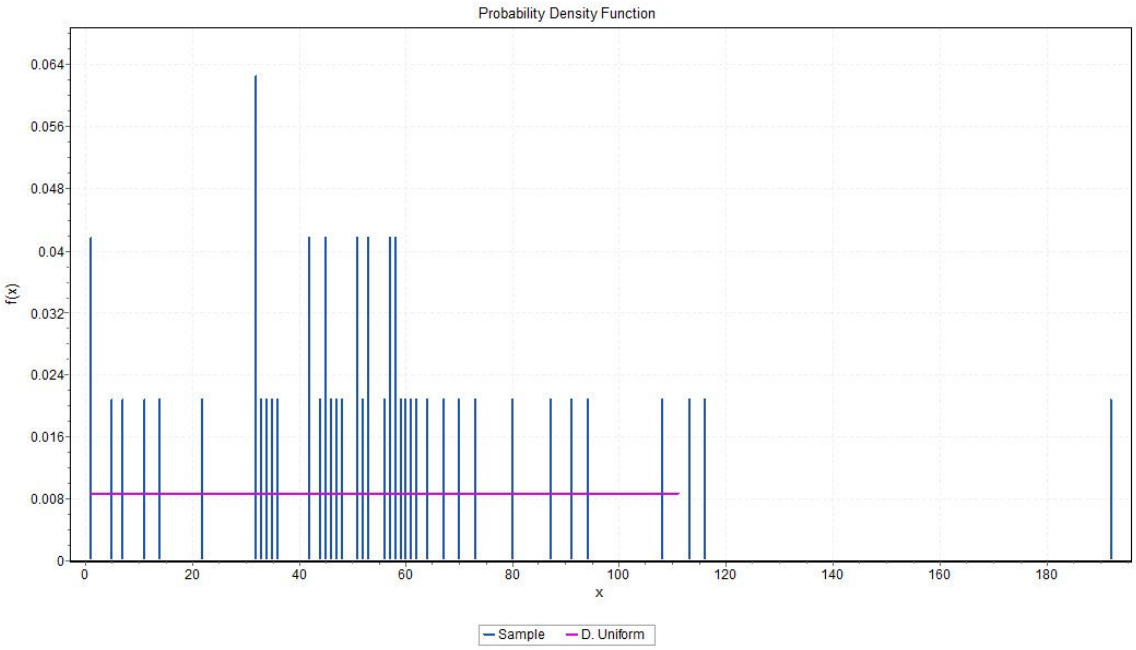
Ki= Qi /P, i E U

F predviđena količina za naručivanje u narednom periodu

O= F + F $\sum_{i \in U} Ki$ = F (1+$\sum_{i \in U} Ki$)

3. PRIKAZ REZULTATA

Kompanija *WinWin shop* d.o.o Čačak jedan je od najvecih maloprodavaca Srbiji u oblasti prodaje IT opreme, kucnih aparata i baštenske opreme. Prodaja se odvija u okviru 110 prodajnih objekata širom Republike Srbije. Širok i diversifikovan proizvodni program karakterise se velikim brojem dobavljača za koje su zaduzeni *category manager* (CM) podeljeni po grupama proizvoda (*consumer*, *market*, komponente, *awi*, periferije). Osnovna uloga sektora nabavke je planiranje, obezbedjivanje i postavljanje optimalnih zaliha proizvoda predvidđanjem tražnje i analizom prodaje i ostalih uticajnih faktora prodaje. Svaki CM za kategoriju proizvoda koju je zadužen vrsi predviđanje (planiranje i narucivanje potrebne kolicine proizvoda i rezervisanje kod dobavljaca), a po pristizanju iste rasporadjuje u gore pomenutih 110 maloprodajnih objekata prema planu optimalnih zaliha za svaku od radnji. Svaka dopuna i odstupanje od plana predstavlja trošak za kompaniju stoga je neophodno adekvatno predvideti buduću tražnju u okviru maloprodajnih kapaciteta i na početku sezone predvideti količine koje ce zadovoljiti buducu traznju. Market grupa u okviru sektora nabavke karakteriše se širokim prodajnim programom kojima snabdeva radnje kao i faktorom sezonalnosti koji je karakteristican za ovu kategoriju proizvoda. Predmet ovog rada je kategorija proizvoda kosačice za travu brenda *fildman* koja se poručuje od dobavljaca *Fast*. U okviru portfolia ovog dobavljača nalaze se tri vrste kosačica, gde su pomenuti artikli različitih performansi. Svemu navedenom treba dodati i činjenicu da se ova kategorija proizvoda usled nedovoljnih kapaciteta ne raspoređuje u svim prodajnim objektima već po osnovu unapred utvrđenog plana pozicioniranja artikala u 40 od 110 maloprodajnih objekata pri čemu ostale radnje imaju mogućnost preuzimanja proizvoda sa skladišta ili prenosa iz druge radnje. Tražnja za kosačicama i raspodela kojoj ona pogleže su prikazani na slici 2.



Slika 2: Raspodela tražnje za kosačicama za travu *fildman*

Kako se planiranje raspodele ove kategorije proizvoda postavlja prema odnosnim kategorijama radnji (njihovom planu pozicioniranja i optimalnim zalihama) sam problem se teorijski može podvesti pod problem prodavca novina, ali u konkretnom slučaju ovaj model može predstavljati samo dobru osnovu koja mora biti dopunjena i drugim uticajnim faktorima.

Na osnovu podataka o prodaji vrsi se planiranje zaliha sa jednog mesta od strane CM i određivanje optimalnih količina za naručivanje za vremenski interval T. Troškovi koji se uzimaju u razmatranje u ovom slučaju jesu troškovi nestašica zaliha u vrednostu prodajne cene proizvoda cp (troškovi penala) odnosno

izgubljene prodaje u okviru vremenokog intervala T, a u konkretnom slučaju predstavljaju razliku u ceni između prodajne i nabavne vrednosti. Troškovi nabavke u zavisnosti od optimalne količine za naručivanje optimalne količine kosilica određeni su kao c.

Primenom modela prodavca novina dobijene su dnevne količine poručivanja i ukupna količina koja bi zadovoljila predviđeni period. Međutim, kako u posmatranom vremenskom periodu tražnja nije konstantna i na nju utiču i drugi faktori koji se moraju uzeti u razmatranje. Ti faktori su sprovedene marketinške aktivnosti poput akcija i šniženja koje dovode do skoka prodaje, vremenske prilike, kupovne navike kupaca. Svi ovi faktori moraju se dodati dobijenoj količini po osnovu modela kako bi se predvidela optimalna količina za naručivanje Q za zadati period, a pri tome troškovi nedostatka proizvoda sveli na najmanju moguću meru. Uzimajući u obzir ovu činjenicu, model prodavca novina može se primeniti samo kao osnova kojoj se moraju pridodati ostali uticajni faktori kako bi se u realnom sistemu dobila količina koju će CM poručiti.

U tabeli 1 prikazani su uticajni faktori.. Na dnevnu tražnju za ovim kategorijama proizvoda utiču i parametri kao što je i gore navedeno utiču i parametri definisani u tabeli 1. To su pre svega aktivnosti poboljšanja prodaje koje u proseku povecavaju prodaju ove kategorije proizvoda za 1 komad po svakoj od radnji. One se sprovode prema unapred utvrđenom planu, a prilikom poručivanja iste se moraju uzeti u obzir. Kupovne navike odnose se na periode u kojima dolazi do rasta ili pada tražnje tokom nedelje pri čemu vikendima dolazi do porasta prodaje ove kategorije proizvoda. i na posletku vremenski uslovi kao promenljive na koje se ne može uticati ali se pri predviđanju tražnje moraju uzeti u obzir.

Tabela 1: Uticajni faktori

	Broj ponavljanja /koeficijent
Sprovedene aktivnosti poboljšanja prodaje- planirane	
1. Akcije- promoteri	10 -0.192
2. Sniženja	7 – 0,216
3. Poklon artikli uz kupovinu	4- 0,23
Kupovne navike	0,167
Vremenski uslovi	0,17

Primenom modela prodavca novina optimalna količina proizvoda kategorije kosačica je na dnevnom nivou 27, a ukupna za posmatrani period 1296 , međutim kada se u obzir ne bi uzeli ostali parametri koji mogu uticati na buducu tražnju ova količina ne bi zadovoljila planirani period T pa bi bili prinuđeni na poručivanje dodatnih količina po cenama višim, dodavanjem ovih faktora odnosno korekcijom modela dobijamo količinu koja bi zadovoljila tražnju za posmatrani vremenski period. Upravo ovu kolicinu moze definisati sistem planiranja zaliha, a da se pri tome zadovolje trzisni zahtevi, svedu na najmanju mogucu meru oportinutetni troskovi, i optimalno planiraju zalihe.

Model i metodologija u radu primenjena je na sezonsku kategoriju robe, ali se sam pristup formiranja prognoza prilikom planiranja zaliha i odredjivanja kolicina za narucivanje moze primeniti na portfolio robe koju ovaj prodajni sistem poseduje. Uzimanjem u razmatranje ekspertiskih procena i paramenara koji uticu na prodaju artikala (akcije, kupovne navike , vremenski uslovi) primenjeni model se koriguje, a dobijena procena kolicine koja ce zadovoljiti traznju je 2560 komada za posmatrani period od 48 radnih dana. Korekcijma modela i izvrsena prognoza čini 50 % u odnosu na postojeci model, sto potvrdjuje cinjenicu da se usled kompleksnosti poslovnih sistema ni jedan model ne moze inicijalno primeniti. Na osnovu dobijenih rezultata category menadzer dobijenu kolicinu moze poruciti od dobavljaca, a da u svakom trenutno moze odgovoriti na zahteve trzista.

4. ZAKLJUČAK

U okviru rada bila je prikazana primena modela prodavca novina koji se usled kompleksnosti savremenih poslovnih sistema, diversifikacije prodajnih i proizvodnih programa i složenih tržišnih zahteva kao takav ne može primeniti. Sve su ovo razlozi da je ovaj model predviđanja na primeru kompanije WinWin shop d.o.o zahtevao korekcije u odnosu na uticajne parametre koji se direktno reflektuju na buduću tražnju. Predmet analize bili su konkretni artikli – kosačice za travu koje karakterise aspekt sezonalnosti sto model čini pogodnijim za primenu. Na osnovu dobijenih rezultata moguce je predvideti optimalne količine za naručivanja koje ce zadovoljiti traznju za predviđeni vremenski period pri cemu se troskovi drzanja zaliha kao i troskovi gubitaka prodaje svode na najmanju mogucu meru.

Primena ove metodologije sa izvršenom korecijom daje dobru osnovu menadžmentu kompanije pri planiranju i odlučivanju i daje mogućnost primene na široki prodajni portfiolio. Sprovedena analiza pokazuje da je za adekvatno uspostavljanje sistema predviđanja u preduzecu pored istorijskih podataka koji bi u ovom slučaju predstavljali primenu modela prodavca novina neophodno uzimanje u obzir i drugih parametara koji ce model modifikovati, a samim ti i predviđanje i procenu učiniti preciznijom.

LITERATURA

1) Archetti, C., Bertazzi, L., Laporte, G., & Speranza, M. G. (2007). A branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem. *Transportation Science*, *41*(3), 382-391.
2) Edgeworth, F. 1888. The mathematical theory of banking. J. Royal Statist. Soc. 51 113–12
3) Krčevinac, S., Čangalović, M., Kovačević-Vujčić, V., Martić, M., & Vujošević, M. (2006). *Operaciona istraživanja 2*. Fakultet organizacionih nauka.
4) Mills, E. S. (1959). Uncertainty and price theory. *The Quarterly Journal of Economics*, *73*(1), 116-130.
5) Porteus, E. L. (1990). Stochastic inventory theory. DP Heyman, MJ Sobel, eds. *Handbooks in operations research and management science*, *2*, 605-652.
6) Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling* (Vol. 3, p. 30). New York: Wiley.
7) Stalk Jr, G., & Hout, T. M. (1990). How time-based management measures performance. *Planning Review*, *18*(6), 26-29.
8) Vujošević, M. (1997). Operativni menadžment–kvantitativne metode. Društvo operacionih istraživanja-DOPIS, Beograd
9) Weatherford, L. R., & Pfeifer, P. E. (1994). The economic value of using advance booking oforders. *Omega*, *22*(1),105-111.

2017

POUZDANOST I UPRAVLJANJE RIZIKOM

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PROCENA RIZIKA U PROCESU EKSPLOATACIJE PRIRODNIH RESURSA METODOM HFACS

RISK ASSESSMENT IN THE PROCESS OF EXPLOITATION OF NATURAL RESOURCES BY METHOD HFACS

KRISTINA ANDRIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, akristina87@ptt.rs

Rezime: *Predmet ovog rada je ljudska greška koja se javlja kao uzrok otkaza tehničkog ili organizacionog sistema. Upravljanje rizikom, kao važan deo procesa donošenja odluka, između ostalog obuhvata i analizu ljudske greške. Jedna od metoda za procenu načina otkaza organizacionog ili tehničkog sistema sa stanovišta ljudske greške jeste Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) metoda koja dopunjuje Rizonov model uzroka nesreće. Ova relativno nova metoda biće predstavljena u radu na primeru iz realnog života.*

Ključne reči: *Ljudska greška, HFACS, rizik.*

Abstract: *The subject of this paper is human error as cause of technical or organizational system failure. Risk management, as an important part of the decision-making process, includes, among other things, analysis of the human error. One of the methods for assessing the failure of an organizational or technical system in terms of human error is the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) method that complements the Rizon model of the cause of the accident. This relatively new method will be presented in the case of real life.*

Keywords: *Human error, HFACS, risk.*

1. UVOD

„Teže je promeniti odluku nego je doneti.“ Anon

U cilju procene rizika veliki značaj ima predviđanje, identifikovanje i razumevanje prirode ljudske greške. Analiza ljudske greške trebalo bi da bude sastavni deo procesa donošenja odluka na svim nivoima organizacije ili sistema.

Identifikovanje ljudske greške, planiranje akcija za njihovo eliminisanje ili ublažavanje uticaće na smanjenje posledica ljudske greške, samim tim i na rizik koji ljudska greška može da izazove. Razumevanje uzroka koji doprinose ljudskim greškama utiče na nivo rizika sistema. Ignorisanje uzroka ljudske greške može da dovede do narušavanja funkcionalnosti sistema, na svim nivoima, uz posledice koje mogu uticati na ljudski život, zdravlje čoveka, uništavanje čitavih sistema.

Predmet ovog rada je ljudska greška. U radu će biti opisana relativno nova metoda za analizu i klasifikaciju ljudske greške HFACS (Human Factors Analysis and Classification System), koju čine različiti oblici ljudskih grešaka na različitim nivoima. Rad se sastoji iz tri dela. Prvi deo rada bavi se pojmom i analizom ljudske greške. Drugi deo rada posvećen je Rizonovom modelu uzroka nesreće na kome se zasniva HFACS metoda, kao i rizicima koji se javljaju u realnim sistemima. U ovom delu rada biće prikazana metoda HFACS, uz njenu primenu u realnom sistemu. S obzirom na to da se metoda HFACS bavi analizom oblika ljudskih grešaka na različitim nivoima bez uključivanja posledica koje ljudske greške mogu da izazovu, u radu će biti prikazan i modifikovan model ove metode koji će uključiti i nivo posledice greške. Modelu se kasnije može dodati i treća dimenzija koja može uključiti troškove. U trećem i poslednjem delu rada biće prikazani rezultati istraživanja uz adekvatan zaključak.

2. POJAM LJUDSKE GREŠKE

Ljudske greške mogu biti neprimetne i prolazne bez ikakvih posledica na organizacioni sistem i okolinu. Istovremeno, ljudska greška, odnosno donošenje pogrešnih odluka, može imati izuzetno negativan uticaj na efektivnost čitavih sistema.

Greška je blisko povezana sa pojmom namere. Izraz greška može se primeniti samo na planirane akcije koje ne uspevaju postići svoje željene rezultate. Identifikovana su dva osnovna tipa grešaka: propusti, gde akcije ne idu u skladu sa planom i greške kada sam plan nije dovoljan za postizanje svojih ciljeva (Reason 2003). Dakle, greške mogu uticati na funkcionalnost akcija koje su prethodno planirane, a koje bi u nekim drugim okolnostima, drugačijim uslovima bile izvršene bez posledica po rad sistema, život čoveka, neodrživo trošenje resursa.

Rizici koje sa sobom nose potencijalne greške zaposlenih na raznim nivoima organizacionih i tehničkih sistema, mogu imati ozbiljne posledice i s tim u vezi potrebno je ući u dublju analizu ljudske greške kao uzroka otkaza samog sistema.

Jedan od najčešćih oblika grešaka, greške u odlučivanju, predstavljaju svesno, ciljano ponašanje koje je prethodno planirano, a plan se pokazao neadekvatnim ili neprimerenim datoj situaciji (Wiegmann and Shappell 2001). U pojedinim situacijama donošenje odluke može se učiniti kao prioritetan pravac koji vodi ka razvoju organizacionog sistema, pa i društva u celini, iz čega kasnije proizilaze neželjene posledice. Dakle, što je nivo odlučivanja viši, to je i sama odluka važnija jer u suprotnom posledice ljudskih grešaka, odnosno pogrešno donetih odluka, mogu biti katastrofalne.

Primenom savremenih, vrhunskih tehnologija, moguće je umanjiti procenat greške nastale kao rezultat tehnološkog faktora, ali se postavlja pitanje kako minimalizovati faktor ljudske greške?

3. ANALIZA I KLASIFIKACIJA LJUDSKIH GREŠAKA

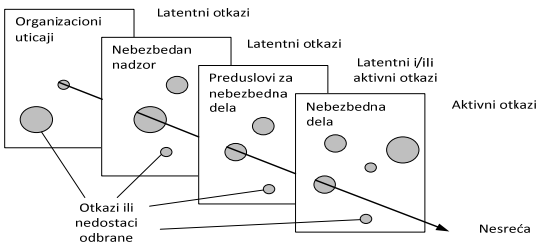
Analiza i sistem klasifikacije ljudskih grešaka (Human Factors Analysis and Classification System – HFACS) je opšti okvir za identifikaciju uzroka ljudske greške, koji je originalno razvijen i testiran u Američkoj vojsci kao sredstvo za istragu i analizu uzroka vazduhoplovnih nesreća do kojih su dovele ljudske greške. HFACS se prvenstveno bavi uzrocima egzogenih grešaka, grešaka koje su uzrokovane ili povezane sa kontekstom u kome se obavlja ljudska aktivnost, kod kojih je dominantna uloga okruženja. Interni uzroci ljudskih grešaka vode ka endogenim greškama koje proističu iz kognitivnih procesa i kao takve proučava ih psihologija. Kroz promene u sistemu nije moguće smanjiti verovatnoću pojavljivanja endogenih grešaka, dok je kod egzogenih grešaka to moguće (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017).

Svakodnevno se prilikom obavljanja poslovnih zadataka na svim nivoima organizacionih sistema javljaju greške kao posledica složenih uslova rada, rutinskog obavljanja zadataka, nepoštovanja pravila i propisa, loše donetih odluka. Od načina na koji upravljamo greškama zavisi da li će se i u kojoj meri greške javljati, na koji način se može sprečiti njihovo ponavljanje, ali i nivo posledice koje greške mogu imati na sistem ili društvo u celini.

Upravljanje greškama u organizaciji jeste dinamički proces koji uključuje utvrđivanje opasnosti u realnom vremenu, razvijanje modela intervencija i konstantno podizanje stepena sigurnosti. Jedan od takvih modela jeste i model HFIX (Human Factors Intervention matriX) koji omogućava stručnjacima iz oblasti sigurnosti da sistematski generišu interventne strategije koje direktno utiču na specifične tipove grešaka. Model upućuje stručnjake da biraju potencijalno efikasne strategije intervencije (Nikić 2010). Vremenski okvir nastajanja ljudske greške predstavlja jedan od kriterijuma na kojima se zasniva HFACS metoda i kao takav u velikoj meri utiče na smanjenje rizika od otkaza funkcionala nekog sistema.

3.1. Rizonov model uzroka nesreće

U nastavku rada biće prikazan Rizonov model uzroka nesreće koji se naziva i „Švajcarski sir“ model uzroka nesreće zbog slike samog modela koji podseća na isečen švajcarski sir. Slika 1 (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017)



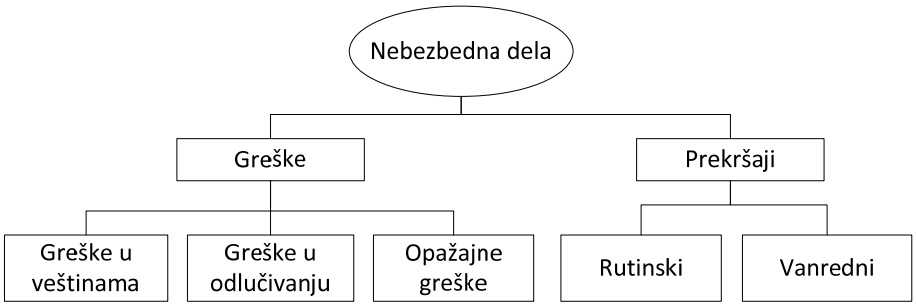
Slika 1: Rizonov model uzroka nesreće

Rupe u modelu „Švajcarski sir“ javljaju se u dva oblika: kao aktivni i latentni otkazi. Aktivni otkazi predstavljaju nebezbedna dela počinjena od strane ljudi koji su u direktnom kontaktu sa sistemom. Međutim, gotovo svi takvi postupci imaju uzročnu istoriju koja se proteže unazad kroz vreme i sve nivoe sistema. Latentni otkazi proizilaze iz odluka upravljanja najvišeg nivoa organizacionog sistema. Takve odluke ne moraju biti pogrešne, ali i mogu biti. Za razliku od aktivnih otkaza koji se teško mogu predvideti, latentni otkazi mogu biti identifikovani i otklonjeni pre nego što dođe do neželjenog događaja. Razumevanje toga vodi ka proaktivnom upravlajnju rizicima (Reason 2000).

Svi neželjeni događaji uglavnom uključuju kombinaciju ova dva faktora. Ono što je specifično kod modela uzroka nesreće „Švajcarski sir“ je to što u stvarnosti ima mnogo više rupa nego što je prikazano na slici broj 1, kao i to što se rupe stalno otvaraju, zatvaraju i pomeraju svoju lokaciju.

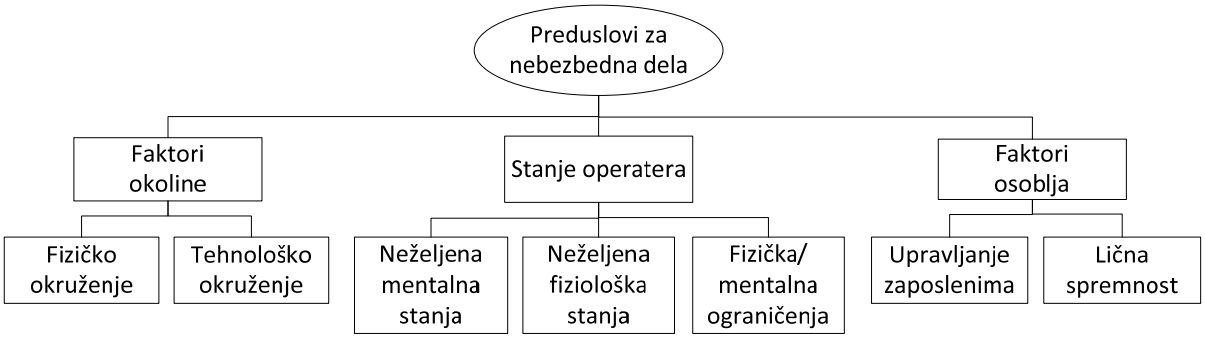
3.2. HFACS metoda za analizu ljudske greške

Teorijska osnova metode HFACS jeste Rizonov model uzroka nesreće. Nadovezujući se na Rizonov model po kome su greške okarakterisane kao latentne i aktivne, HFACS opisuje ljudsku grešku na svakom od četiri nivoa neuspeha: 1) Nebezbedna dela (npr. avio posada); 2) Preduslovi za nebezbedna dela; 3) Nebezbedan nadzor; 4) Organizacioni uticaji (Wiegmann and Shappell 2001).



Slika 2: Kategorije nebezbednih dela

Prvi nivo „Nebezbedna dela“ može biti klasifikovan u jednu od dve kategorije: greške ili prekršaje. HFACS opisuje tri tipa grešaka (greške u veštinama, greške u odlučivanju i opažajne greške) kao i dva tipa prekršaja (rutinske i vanredne) (Reason 2003). Automatsko izvođenje rutinskih aktivnosti, manjak koncentracije ili greške u veštinama zaposlenog, predstavljaju samo neke od faktora koji mogu uticati na pojavljivanje potencijalne greške. Slika 2 (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017)

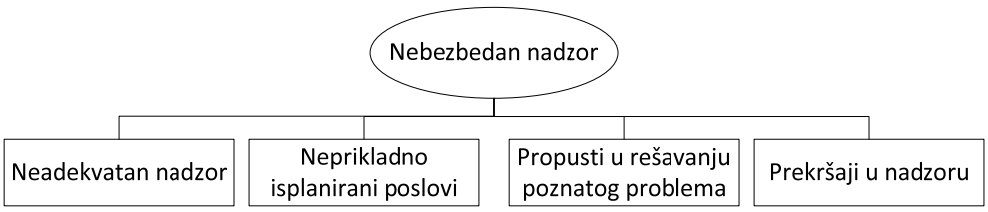


Slika 3: Kategorije preduslova za nebezbedna dela

Drugi nivo HFACS metode fokusiran je na nebezbedna dela, u smislu fokusiranosti lekara na simptome pacijenta bez osnovnog stanja bolesti koje je te simptome izazvalo. S tim u vezi, „Preduslovi za nebezbedna dela“ klasifikovani su u tri kategorije: faktori okoline, stanje operatera, faktori osoblja i predstavljaju latentne otkaze (Wiegmann and Shappell 2001). Slika 3 (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017)

Dakle, ovaj nivo modela uzima u obzir fizičko i tehnološko okruženje kao uslove pod kojima se obavljaju redovne radne aktivnosti; analizira neželjena mentalna i fiziološka stanja operatera, kao i njihova fizička/mentalna ograničenja, ali i upravlja zaposlenima u smislu motivacije i nagrađivanja. Veliki broj faktora utiče na stanje operatera u radnom okruženju: umor, stanje svesti, fizičko zdravlje, emocije, nagle promene navika, sklonost ka pravljenju grešaka, kao i adekvatna obuka.

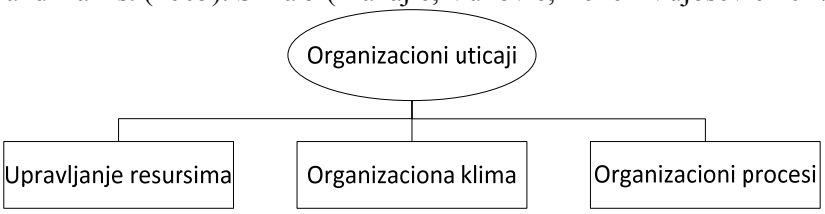
Treći nivo „Nebezbedan nadzor“ predstavljaju latentni otkazi koji se odnose na odluke i postupke linijskog menadžmenta, odnosno greške koje pravi srednji menadžment (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017).



Slika 4: Kategorije nebezbednog nadzora

Primer koji najbolje ilustruje treći nivo otkaza „Nebezbedan nadzor“ jeste primer pilota koji upravlja avionom i u potpunosti je odgovoran za svoje postupke u slučaju nezgode. U većini slučajeva takvi postupci (greške) predstavljaju naslednike latentnih otkaza koji se mogu pripisati onima koji ih nadgledaju (Wiegmann and Shappell 2001). Slika 4 (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017)

Četvrti i najviši nivo latentnih otkaza odnosi se na pogrešne odluke top menadžmenta koje direktno utiču na preostala tri nivoa otkaza i obuhvata podkategorije: upravljanje resursima, organizacionu klimu i procese (Wen-Chin and Harris. (2005). Slika 5 (Makajić, Vuković, Belić i Vujošević 2017)



Slika 5: Kategorije organizacionih uticaja

4. PROCENA RIZIKA U PROCESU EKSPLOATACIJE PRIRODNIH RESURSA METODOM HFACS

Održivi razvoj u velikoj meri zavisi od eksploatacije prirodnih resursa. Značaj procene rizika u procesu eksploatacije prirodnih resursa proističe iz negativnog uticaja na životnu sredinu koji može da izazove njihovo istraživanje i prerada.

U nastavku će biti prikazana primena HFACS metode u utvrđivanju uzroka ljudskih grešaka u procesu eksploatacije mineralnih resursa metala. Analiza uzroka ljudskih grešaka izvršena je na osnovu ideje o sprovođenju istraživanja ležišta i moguće prerade rude nikla u Srbiji. Ideja o otvaranju rudnika nikla na prostoru Mokre Gore potiče još iz 2004. godine kada je Ministrastvo rudarstva i energetike Vlade Republike Srbije odobrilo geološka istraživanja rude nikla na teritoriji Mokre Gore. Ali u neformalnoj javnoj raspravi zaključeno je da bi takav rudnik bio „ekološka bomba“ za Taru, Mokru Goru i reku Drinu i da bi posledice bile katastrofalne po zdravlje čoveka, floru, faunu, osnovne prirodne vrednosti i resurse. Na osnovu toga Minisarstvo je povuklo svoju odluku za dalja istraživanja ležišta rude nikla u Mokroj Gori. Rizik za pokretanje ovakve vrste istraživanja u Mokroj Gori i dalje postoji, posledice pokretanja rudnika mogu biti katastrofalne po životnu sredinu, s obzirom na to da eksploatacija nikla podrazumeva izdvajanje nikla iz rude, pri čemu se neizostavno koristi sumporna kiselina.

Analiza uzroka ljudskih grešaka izvršena je na osnovu interne dokumentacije Parka prirode “Šargan – Mokra Gora”, kao i na osnovu saopštenja sa savetovanja o niklu u Srpskoj akademiji nauka i umetnosti. Zbog nepostojanja detaljne evidencije o ljudskim greškama u procesu eksploatacije rude nikla na prostoru Mokre Gore, s obzirom na to da je u središtu problema samo ideja o početku istraživanja, evidentirano je koje greške se mogu pojaviti i na kom nivou.

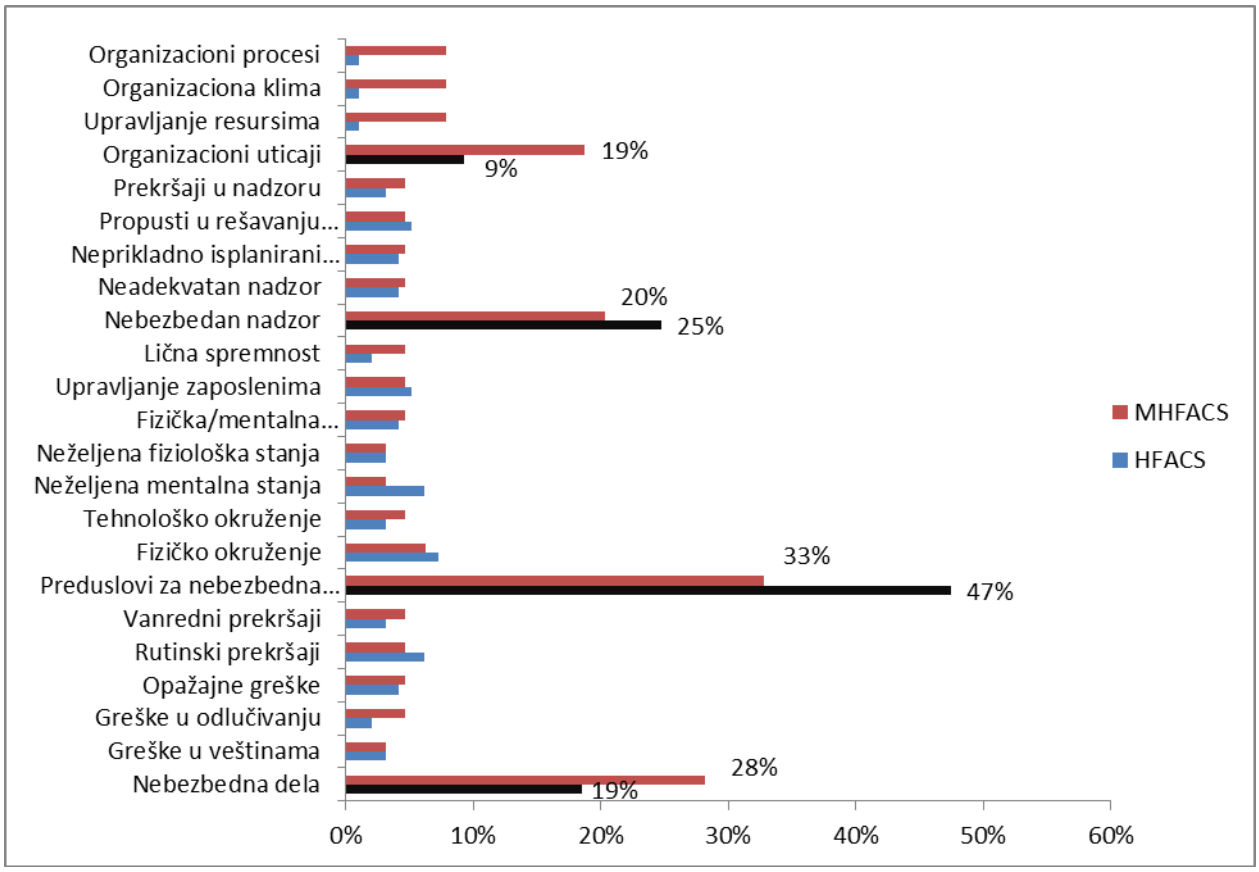
Zbog nepostojanja detaljne evidencije o greškama (jer je u pitanju ideja istraživanja rude nikla), do istraživanja još uvek nije došlo, ali je izvršena preliminarna analiza u smislu evidentiranja broja mogućih grešaka na svakom od četiri nivoa (Slika 5). Nakon toga, prikazane su i moguće posledice za svaku od grešaka zajedno sa ocenom, odnosno nivoom rizika koji sa sobom nose (Tabela 1).

Tabela 1: Nivo posledice MHFACS modela

Posledica (P)	Ocena
Nikakva. Nema razloga da se očekuje da će posledica imati negativan uticaj po bezbednost, zdravlje čoveka ili okruženje.	1
Mala. Neznatan poremećaj funkcionisanja koji neće ugroziti čitav sistem.	2
Umerena. Umereni poremećaj funkcionisanja. Ceo sistem se mora preispitati.	3
Velika. Veliki poremećaj funkcionisanja sistema.	4
Hazard. Opasnost za sigurnost, zdravlje čoveka ili okruženje.	5

Dodeljivanjem posledice svakoj od grešaka dobijena je Modifikovana HFACS metoda, MHFACS metoda koja je prikazana u nastavku rada. Oznaka MHFACS zapravo predstavlja akronim engleskih reči: Modified (modifikovana), Human (ljudska), Factors (faktori), Analysis (analiza), Classification (klasifikacija) System (sistem). Primenom modifikovane MHFACS metode moguća je preciznija analiza ljudske greške, ne samo sa aspekta pronalaženja samog uzroka greške, već i sa aspekta težine posledice koju ljudska greška sa sobom nosi. Dakle, modifikovanom metodom može se odrediti nivo posledice koju ljudska greška, a čiji je uzrok određen tradicionalnom metodom HFACS, može imati.

Uporedni pregled rezultata dobijenih korišćenjem obe metode prikazan je u nastavku rada (Slika 6).



Slika 6: Rezultati svrstani u kategorije

Sa grafikona se može videti da modifikovana metoda MHFACS dopunjuje osnovnu metodu i predstavlja korak dalje u analizi ljudske greške. Rezultati koji se javljaju nakon upotrebe obe metode jesu različiti, ali njihovo zajedničko delovanje čini jednu kompaktnu celinu uz pomoć koje je moguće ne samo utvditi uzrok ljudske greške, već i nivo posledice koji ta greška sa sobom nosi.
Dakle, najveći broj različitih uzroka ljudskih grešaka zastupljen je u kategoriji "Preduslovi za nebezbedna dela", 47% od ukupnog broja grešaka. Među njima najviše grešaka javlja se kao posledica fizičkog okruženja u kome se obavljaju radni zadaci. U slučaju eksploatacije rude nikla, to bi bili uslovi pod kojima rudari rade: toplota, buka, vibracije, nadmorska visina itd. Takođe se može zaključiti da se na ovom nivou ljudske greške mogu javiti u velikom broju i kao takve nose sa sobom rizik da i posledice budu ozbiljnije, 33%.

Međutim, kategorija "Organizacioni uticaji" ima isti broj mogućih uzroka ljudskih grešaka – svega jednu grešku u svakoj od kategorija. Posledice svake od tih grešaka su takođe iste, nose ocenu 5, veliki rizik i predstavljaju opasnost za sigurnost, zdravlje čoveka ili okruženje. Dakle, dovoljna je jedna greška koja bi imala nesagledive posledice po okruženje i čitav sistem. Greške na ovom nivou uglavnom se odnose na greške najvišeg nivoa menadžmenta koji donosi odluke. U slučaju eksploatacije rude nikla to bi bila država, odnosno Vlada Republike Srbije. Odluka Vlade Republike Srbije da se započne sa istraživanjima, a potom i eksploatacijom rude nikla na području Mokre Gore, imala bi direktan uticaj na preostala tri nivoa modela HFACS: na nadzorne činioce, uslove i postupke operativnih radnika.

Koliko god posledice koje su u direktnoj vezi sa poslovima operativnih radnika bile velike, činjenica je da najveći rizik upravo nosi sam proces donošenja odluke - da li ili ne započinjati istraživanje i eksploataciju rude nikla.

5. ZAKLJUČAK

Upravljanje rizikom u organizacionim ili tehničkim sistemima predstavlja složen proces koji između ostalog zahteva i analizu i praćenje ljudske greške. Donošenje odgovarajućih odluka na svim nivoima sistema, od najnižih do najviših, zahteva visok nivo znanja, iskustva i posvećenosti, čime se izloženost raznim rizicima svodi na minimum.

Iz rada se može zaključiti da sve aktivnosti u procesu upravljanja rizikom i donošenja odluka mogu uticati na funkcionalnost samog sistema i predstavljaju potencijalni otkaz. Takođe, može se zaključiti da ukoliko najviši menadžment načini latentne greške u samom procesu donošenja odluka, posledice mogu biti katastrofalne, ne samo po ostala tri nivoa modela HFACS, odnosno organizacioni sistem, već i po čitave ekosisteme, bezbednost i zdravlje ljudi, životnu sredinu pa čak i život čoveka.

Postavlja se pitanje - kako doneti pravu odluku uz minimalizovanje rizika i minimalizovanje ljudske greške?

LITERATURA

[1] Makajić-Nikolić, D., Vuković, M., Belić, A., & Vujošević, M. (2017). Održavanje mašina i opreme. Analiza i sistem klasifikacije ljudskih grešaka, 16, 7.

[2] Nikić, P. (2010). Međunarodni časopis za ekonsku teoriju i praksu i društvena pitanja. Ekonomika. Menadžment ljudskih resursa u funkciji prevaziaženja grešaka u organizacionom ponašanju. 93-102, 98.

[3] Reason, J. (2003). Human error. The nature of error. Summary, 104, 17.

[4] Reason, J. (2000). Human error: models and management. The Swiss cheese model of system accidents. 768–770

[5] Wiegmann, D. A., & Shappell, S. A. (2001). Human error analysis of commercial aviation accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). HFACS. 1006-1016, 1009.

[6] Wen-Chin Li & Don Harris. (2005). International Journal of Applied Aviation Studies. HFACS Analysis of ROC Air Force Aviation Accidents: Reliability Analysis and Cross-cultural Comparison. 65.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

KRITIČNOST KOMPONENTI U *MULTI STATE* SISTEMIMA

CRITICITY OF COMPONENTS IN MULTI STATE SYSTEMS

PETAR PAVLOVIĆ[1], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[2], MIRKO VUJOŠEVIĆ[3]

[1] Visoka medicinska i poslovno-tehnološka škola strukovnih studija, Šabac petar.pavlovic@vtssa.edu.rs
[2,3] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, [2]gis@fon.bg.ac.rs, [3]mirkov@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu se razmatra problem određivanja najkritičnijih komponenata za pouzdanost sistema u slučaju kada i sistem i komponente mogu da se nađu u različitim stanjima ispravnosti. Prvo se prikazuje kako se, uvođenjem praga ispravnosti, stanja sistema i komponenti svode na binarna stanja. Zatim se predlaže pristup zasnovan na optimizaciji kojim se istovremeno određuje ceo skup, zadate kardinalnosti, najkritičnijih komponenata.*

Ključne reči: *pouzdanost, kritične komponente, optimizacija*

Abstract: *In this paper, the problem of determining the most critical multi-state components in multi-state systems is considered. First, it is shown that system's and components' states can be reduced to binary states by introducing the threshold approach. In addition, we propose an approach for simultaneous determination of a group of the most critical components. The approach is based on solving an optimization problem.*

Keywords: *Reliability, Critical Components, Optimization.*

1. UVOD

Održavanje zasnovano na pouzdanosti (*Reliability Centered Maintenance* - RCM) je pristup u održavanju sistema u kome se teži da se identifikuju komponente koje su kritične sa aspekta pouzdanosti sistema da bi se akcije održavanja usmerile pre svega na te komponente (Zio, 2009). Određivanje najkritičnijih komponenti u teoriji pouzdanosti se vrši pomoću tzv. Mera značajnosti. (Kuo & Zhu, 2012). Većina pristupa u određivanju najkritičnijih komponenti podrazumeva da se prvo određuje vrednost značajnosti komponente na osnovu date mere značajnosti a zatim se komponente rangiraju na osnovu dobijenih vrednosti. Međutim, ovakvim pristupom se komponente rangiraju samo na osnovu individualnog uticaja na pouzdanost sistema a ne razmatra se uticaj kombinacije ili grupe komponenti. Ovaj nedostatak predstavlja jedno od otvorenih pitanja u okviru mera značanosti (Zio, 2011).

Većina mera značajnosti se odnosi na sisteme i komponente koji mogu biti u dva stanja: operativno stanje i stanje otkaza. Međutim, komponente se mogu naći u različitim stanjima funkcionalnosti koja se nalaze između savršenog funkcionisanja i potpunog otkaza. Takve komponente se nazivaju *multi state* komponente. Međustanja komponenti koja predstavljaju njihovo degradirano funkcionisanje mogu izazvati degradirano ali ipak operativno stanje sistema (Xie, Dai, & Poh, 2004). Takvi sistemi se nazivaju *multi state* sistemi i oni mogu da funkcionišu sa različitim nivoima efikasnosti, koji se uobičajeno definišu kao nivoi performasi sistema. Prema tome, sistem i komponente sa binarnim stanjima (ispravan-neispravan) se mogu posmatrati kao specijalan slučaj multi state sistema i komponenti.

Prema Yingkui and Jing (2012), analiza kritičnosti i značajnosti *multi-state* komponenti je jedna od najaktuelnijih pitanja u oblasti *multi state* sistema. Iako je razmatranje *multi state* sistema počelo sedamdesetih godina prošlog veka (Barlow & Wu, 1978), interesovanje za mere značajnosti komponenti ovakvih sistema se javilo tek krajem XX veka (Zaitseva, 2012). Levitin G, Lisnianski A (1999) su prvi primenili tradicionalne mere značajnosti na sisteme sa *multi-state* komponenama. Kasnije se javljaju radovi u kojima se analizira uticaj stanja komponenti na pouzdanost sistema bez razmatranja troškova (Ramirez-Marquez et al, 2006) i sa razmatranjem troškova dovođenja komponenti u određeno stanje (Ramirez-Marquez and Coit, 2007). Zaitseva (2012) i Kvassay, Zaitseva, i Levashenko (2015) su uveli specifične mere značajnosti komponenti multi-state sistema zasnovane na diferencijalnom računu.

U ovom radu se razmatra problem određivanja najkritičnijih *multi state* komponenti u *multi state* sistemima. Za razliku od uobičajenih mera značajnosti, ovde se predlaže pristup za istovremeno određivanje

celog skupa najkritičnijih *multi state* komponenata. Pristup je zasnovan na rešavanju optimizacionog problema koji se svodi na problem težinskog maksimalnog pokrivanja skupa (*Weighted maximum coverage*) (Du, Ko & Hu, 2012). Osnovna ideja je svesti *multi state* na binarni problem. Ta ideja je već korišćena u (Levitin, Podofillini, Zio, 2003) gde se uvodi prag preformansi (*performance threshold*) za stanje sistema u kome se sistem smatra ispravnim i time se stanja sistema dele u dva disjunktna skupa: skup stanja iznad i skup istanja ispod definisanog praga. Posledica toga je da se u problem određivanja najznačajnijih komponenata sistema sa međustanjima uvodi binarna logika.

Rad se sastoji iz pet sekcija. U narednoj sekciji su opisani osnovni pojmovi i svojstva *multi state* sistema i koncept praga ispravnosti. U trećoj sekciji je prikazan matematički model kojim se određuje skup najkritičnijih komponenti sistema. Četvrta sekcija se odnosi na početne rezultate eksperimentisanja sa različitim verovatnoćama stanja komponenti. U petoj sekciji su dati zaključci i pravci daljih istraživanja.

2. *MULTI STATE* SISTEMI

Posmatra se sistem od *n* komponenti od kojih svaka može biti u nekom od *m* stanja $S=\{0,1,...,m-1\}$, gde stanje 0 odgovara potpunom otkazu komponente a stanje *m*-1 savršenom funkcionisanju. Da bi se uveli *multi states* sistemi i njihove verovatnoće, koristiće se sledeća notacija.

$I=\{1,2,...,n\}$ - skup komponenti,

$S=\{0,1,...,m-1\}$ - skup stanja,

$p_{ij}=A_i^{=j}=\mathrm{P}(k_i=j)$ - verovatnoća da će komponenta *i* biti u stanju *j*, $i\in I,\ j\in S$,

$A_i^{\geq j}=\mathrm{P}_i(k_i\geq j)=\sum_{k=j}^{m-1}p_{ik}$ - verovatnoća da će komponenta *i* biti u stanju *j* ili višem, $i\in I,\ j\in S$,

$A_i^{\leq j}=\mathrm{P}_i(k_i\leq j)=\sum_{k=0}^{j}p_{ik}$ - verovatnoća da će komponenta *i* biti u stanju *j* ili nižem, $i\in I,\ j\in S$,

$A^{=j}=\mathrm{P}(s=j)$ - verovatnoća da će sistem biti u stanju *j*, $j\in S$,

$A^{\geq j}=\mathrm{P}(s\geq j)$ - verovatnoća da će sistem biti u stanju *j* ili višem, $j\in S$,

$A^{\leq j}=\mathrm{P}(s\leq j)$ - verovatnoća da će sistem biti u stanju *j* ili nižem, $j\in S$,

Prvi problem u analizi pouzdanosti *multi state* sistema je određivanje strukturne funkcije $\phi_i(k)=\phi_i(k_1,k_2,...,k_n):S_1\times S_2\times...\times S_n\rightarrow S$. Zatim, na osnovu verovatnoća stanja svake komponente, može da se odredi verovatnoća svakog stanja sistema. Skup stanja komponenti je konačan. Prema tome:

$$\sum_{j=0}^{m-1}p_{ij}=1 \tag{1}$$

Kako višem stanju komponente odgovara viši nivo performasi, sledi:

$$A_i^{\geq 0}=\mathrm{P}_i(k_i\geq 0)=\sum_{j=0}^{m-1}\mathrm{P}(k_i=j)=\sum_{k_i=0}^{m-1}p_{ik_i}=1,\ i\in I, \tag{2}$$

$$A_i^{\leq m-1}=\mathrm{P}_i(k_i\leq m-1)=\sum_{j=0}^{m-1}\mathrm{P}(k_i=j)=\sum_{k_i=0}^{m-1}p_{ik_i}=1,\ i\in I, \tag{3}$$

$$A_i^{\geq m-1}=\mathrm{P}_i(k_i\geq m-1)=\sum_{k_i=m-1}^{m-1}p_{ik_i}=p_{im-1},\ i\in I, \tag{4}$$

$$A_i^{\leq 0}=\mathrm{P}_i(k_i\leq 0)=\sum_{k_i=0}^{0}p_{ik_i}=p_{i0},\ i\in I, \tag{5}$$

$$A_i^{=j}=A_i^{\geq j}-A_i^{\geq j+1},\ i\in I,\ j\in S\setminus m-1, \tag{6}$$

$$A_i^{=j}=A_i^{\leq j}-A_i^{\leq j-1},\ i\in I,\ j\in S\setminus 0. \tag{7}$$

Analogno, višem stanju sistema odgovara viši nivo performansi sistema:

$$A^{\geq 0}=\mathrm{P}(s\geq 0)=\sum_{j=0}^{m-1}\mathrm{P}(s=j)=\sum_{j=0}^{m-1}A^{=j}=1, \tag{8}$$

$$A^{\leq m-1} = \mathrm{P}(s \leq m-1) = \sum_{j=0}^{m-1} \mathrm{P}(s = j) = \sum_{j=0}^{m-1} A^{=j} = 1, \tag{9}$$

$$A^{\geq m-1} = \mathrm{P}(s \geq m-1) = \sum_{s=m-1}^{m-1} \mathrm{P}(s = m-1) = \sum_{s=m-1}^{m-1} A^{=m-1} = A^{=m-1}, \tag{10}$$

$$A^{\leq 0} = \mathrm{P}(s \leq 0) = \sum_{s=0}^{0} \mathrm{P}(s = 0) = \sum_{s=0}^{0} A^{=0} = A^{=0}, \tag{11}$$

$$A^{=j} = A^{\geq j} - A^{\geq j+1}, j \in S \setminus m-1, \tag{12}$$

$$A^{=j} = A^{\leq j} - A^{\leq j-1}, j \in S \setminus 0. \tag{13}$$

U ovom radu se razmatraju samo homogeni sitemi, odnosno sistemi u kojima je broj stanja svake komponente i celog sistema jednak. U određivanju strukturnih funkcija homogenih *multi* state sistema koristiće se koncept praga (*threshold*). Stanje *r* se naziva pragom komponente. Komponenta je u operativnom stanju ukoliko je u stanju *r* ili višem. U nastavku će biti prikazane strukturne funkcije serijskih i paralelnih *multi state* sistema.

Serijski sitem je u stanju otkaza ako otkaže bar jedna od njegovih komponenti, odnosno u operativnom stanju je ako su sve komponente ispravne. Kod *multi state* sistema, koji se razmatraju u ovom radu, serijski sitem je u stanju *j* ako nijedna od njegovih komponenti nije u stanju *j* i ako je najmanje jedna komponenta u stanju *j:*

$$j = \min\{k_i, i \in I\} \tag{14}$$

Verovatnoća da je sistem u stanju *j* ili višem je: $A^{\geq j} = \prod_{i \in I} \mathrm{P}(k_i \geq j) = \prod_{i \in I} A_i^{\geq j}$ i $A^{=j} = A^{\geq j} - A^{\geq j+1}$

Na osnovu (8), (10) i (12), važi $\sum_{j=0}^{m-1} A^{=j} = 1$.

Dokaz: $\sum_{j \in S} A^{=j} = A^{=0} + A^{=1} + A^{=2} + ... + A^{=m-2} + A^{=m-1}$.

Na osnovu (12) važi: $\sum_{j \in S} A^{=j} = (A^{\geq 0} - A^{\geq 1}) + (A^{\geq 1} - A^{\geq 2}) + ... + (A^{\geq m-2} - A^{\geq m-1}) + A^{=m-1}$ i na osnovu (10) važi:

$\sum_{j \in S} A^{=j} = (A^{\geq 0} - A^{\geq 1}) + (A^{\geq 1} - A^{\geq 2}) + ... + (A^{\geq m-2} - A^{\geq m-1}) + A^{\geq m-1} = A^{\geq 0}$. Prema (8) sledi: $\sum_{j \in S} A^{=j} = 1$.

Paralelni sistem je u operativnom stanju ako je bilo koja od njegovih komponenti ispravna, odnosno u u stanju otkaza je ako su sve komponente neispravne. Paralelni sistem je u stanju *j* ako nijedna od njegovih komponenti nije u stanju nižem od *j* i ako je najmanje jedna komponenta u stanju *j:*

$$j = \max\{k_i, i \in I\} \tag{15}$$

Verovatnoća da je sistem u stanju *j* ili višem je:

$$A^{\geq j} = \prod_{i \in I} \mathrm{P}(k_i \geq j) = \prod_{i \in I} A_i^{\geq j} \text{ and } A^{=j} = A^{\geq j} - A^{\geq j+1} \tag{16}$$

Ovaj uslov može biti izražen i na sledeći način:

$$A^{\leq j} = \prod_{i \in I} \mathrm{P}(k_i \leq j) = \prod_{i \in I} A_i^{\leq j} \text{ and } A^{=j} = A^{\leq j} - A^{\leq j-1} \tag{17}$$

Na osnovu (9), (11) i (13), važi $\sum_{j=0}^{m-1} A^{=j} = 1$. Dokaz je analogan prethodnom.

U analizi strukturne funkcije koherentnog sistema koristiće se definicija minimalnih preseka. Za binarna stanja sistema definicije preseka i minimalnog preseka su: a) Presek binarnog sistema je skup komponenti čija neispravnost dovodi do neispravnosti sistema; b) Minimalni presek je presek koji je redukovan na minimalni broj komponenti čija neispravnost dovodi do neispravnosti sistema.

Minimalni presek može da se izrazi kao paralelni sistem njegovih komponenti, odnosno ako je bilo koja od komponenti ispravna, taj skup komponenti više nije presek. Dalje, koherentni sistem može da se izrazi kao serijska veza njegovih minimalnih preseka, odnosno sistem je neispravan ako se ostvari bar jedan od minimalnih preseka.

Korišćenjem koncepta praga, mogu se uvesti sledeće definicije, slične prethodnim: a) Minimalni presek *multi state* sistema može biti u jednom od m mogućih stanja $S = \{0,1,...,m-1\}$; b) Minimalni presek je u stanju r ilil nižem ako su sve njegove komponente u stanju j ili nižem; c) Sistem je u stanju j ili višem ako su svi njegovi minimalni preseci u stanju r ili višem.

3. DEFINISANJE PROBLEMA I FORMULISANJE MATEMATIČKOG MODELA

Pretpostavlja se da su dati prag r i minimalni preseci koherentnog sistema. Zadatak je nalaženje najkritičnijih komponenti sitema. Neka je C skup od p minimalnih preseka datog *multi state* sistema, $C = \{C_1,...,C_p\}$. Stanje s_l l-tog minimalnog preseka je (Lisnianski, Frenkel & Ding, 2010):

$$s_l = \max\{k_i, i \in C_l\} \tag{18}$$

dok je stanje sistema:

$$s = \min_{C_l \in C}\{s_l\} = \min_{C_l \in C}\{\max\{k_i, i \in C_l\}\}. \tag{19}$$

Na osnovu definicija uvedenih u prethodnom poglavlju, može se definisati problem određivanja najznačajnijih komponenti *multi state* sistema: naći k komponenata čije stanje r ili više obezbeđuje najveću verovatnoću da je sistem u stanju r ili višem.

Pretpostavimo da su sve komponente sistema u stanju koje je niže od praga r. Prema (18), ako se povećaju performanse neke od komponenata $i \in C_l$ tako da ona dostigne stanje r, odgovarajući minipresek C_l će biti u stanju r više neće predstavljati minipresek. Prema tome, takav minipresek može biti eliminisan kao uzrok otkaza sistema (svođenja sistema na stanje niže od praga r). Dalje, svi minipreseci $C_l \in C$ koji sadrže komponentu i će biti u stanju r i eliminisani iz istog razloga.

Neka je x_i binarna promenljiva koja je jednaka 1 kada je komponenta i u stanju r, i 0 u suprotnom, $i \in I = \{1,2,...,n\}$ i neka je y_l binarna promenljiva koja je jednaka 1 kada je minipresek $C_l \in C$ u stanju r, i 0 u suprotnom. Ukoliko su poznate verovatnoće stanja $S_i = \{0,1,...,m_i - 1\}$ komponenata sistema, primenom (16) može se odrediti verovatnoća da je minipresek u stanju r ili višem. Neka su te verovatnoće označene sa w_l.

Sada je moguće formulisati matematički model kojim se određuje k komponenata koje, kada su u stanju r ili višem, maksimiziraju verovatnoću da će se sistem naći u stanju r ili višem.

$$\max \sum_{l=1}^{p} w_l y_l \tag{20}$$

p.o.

$$\sum_{i \in I} x_i = k \tag{21}$$

$$\sum_{i \in I : l \in P_i} x_i \geq y_l, \; l = 1,...,p \tag{22}$$

$$y_l \in \{0,1\}, \; l = 1,...,p \tag{23}$$

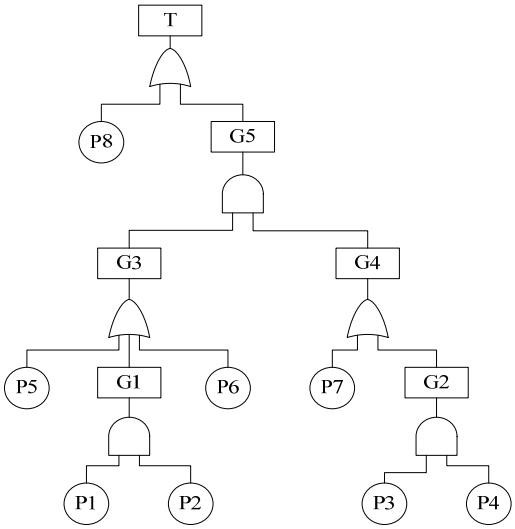
$$x_i \in \{0,1\}, \; i \in I$$

Funkcija cilja predstavlja ukupnu verovatnoću minipreseka koji se nalaze u stanju r ili višem. Ograničenje (21) se odnosi na broj izabranih komponenata koje treba da budu u stanju r ili višem. Ograničenjem (22) je modeliran uslov (18). Uslov binarnosti (23) promenljive y_l se, zbog maksimizacije funkcije cilja i ograničenja (22) može zameniti linearnim uslovom $0 \leq y_l \leq 1, \; l = 1,...,p$.

4. NUMERIČKI REZULTATI

Oređivanje k najznačajnijih komponenata sistema sa međustanjima i zavisnost rešenja od zadatog praga r će biti ilustrovano na primeru stabla neispravnosti sa slike 1. Neka svaka od komponenata, čiji su otkazi modelirani primarnim događajima P1-P8, može da se nađe u tri stanja: m_0 – stanje otkaza, m_1 – stanje smanjene funkcionalnosti i m_2 – stanje ispravnosti. U tabeli 1 su data tri scenarija (SI, SII i SIII) sa različitim raspodelama verovatnoća ovih stanja po komponentama. U prvom scenariju su komponente sa malom

pouzdanošću, u drugom komponente čija je pouzdanost uvek veća od 0,9 i u trećem visokopouzdane komponente. Za svaki od ova tri scenarija je generisano po 10 instanci (u Tabeli 1 je prikazan jedna od njih) i rešavan je matematički model (20-22) za vrednost parametra k=2 (potrebno je izdvojiti dve najkritičnije komponente). Za rešavanje je korišćen softver GLPK (2017).



Slika 1: Stablo neispravnosti

Tabela 1: Verovatnoće međustanja komponenata

Komponente	SI			SII			SIII		
	m_0	m_1	m_2	m_0	m_1	m_2	m_0	m_1	m_2
P1	0,13	0,16	0,71	0,004	0,015	0,981	0,0007	0,001	0,9983
P2	0,06	0,07	0,87	0,018	0,022	0,96	0,0001	0,0011	0,9988
P3	0,56	0,15	0,29	0,001	0,019	0,98	0,0006	0,0003	0,9991
P4	0,6	0,01	0,39	0,013	0,026	0,961	0,0005	0,0003	0,9992
P5	0,42	0,12	0,46	0,013	0,011	0,976	0,002	0,0018	0,9962
P6	0,09	0,3	0,61	0,01	0,023	0,967	0,0003	0,001	0,9987
P7	0,34	0,27	0,39	0,014	0,006	0,98	0,0006	0,0004	0,999
P8	0,16	0,23	0,61	0,011	0,029	0,96	0,0006	0	0,9994

Stablo neispravnosti sa slike 1 ima sedam minipreseka: $C_1=\{x8\}$, $C_2=\{x5x7\}$, $C_3=\{x6x7\}$, $C_4=\{x3x4x5\}$, $C_5=\{x1x2x7\}$, $C_6=\{x3x4x6\}$ and $C_7=\{x1x2x3x4\}$. U slučaju kada se komponente mogu naći samo u stanju potpune ispravnosti ili neispravnosti, skupovi od dve najkritičnije komponente su $\{x3x7\}$ i $\{x4x7\}$ (rešenje modela (20-22) je višestruko.

Pretpostavka koja se želi ispitati u ovom istraživanju je da će, u slučaju *multi state* komponenti i sistema, izbor najkritičnijih komponenti zavisiti od verovatnoća da će se posmatrane komponente naći u stanjima koja su iznad praga ispravnosti. Međutim, za izabrano stablo neispravnosti, u sva tri scenarija i u svih 10 instanci po scenariju, dobijeno je jedno od rešenja $\{x3x7\}$ i $\{x4x7\}$. Za korišćeno stablo neispravnosti, u kome se u šest od sedam minipreseka, nalazi jedna od komponenti $x3$ ($x4$) i $x7$, ni značajne razlike u verovatnoćama stanja ovih komponenata ne bi uticale na izbor najkritičnijih. Zbog toga je naredni korak eksperimentisanje nad većim stabllima neispravnosti u kojim ne postoji tako pokrivenost minimalnih preseka malim brojem primarnih događaja.

5. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada je problem određivanja najznačajnijih komponenata u slučaju kada i komponente i sistem mogu da se nađu u više stanja iispravnosti. Posmatrani su homogeni sistemi u kojima je skup stanja isti za komponente i za sistem. Za određivanje najznačajnijih komponenata ovakvih sistema, u radu je prvo korišćen pristup praga ispravnosti, čime se stanja komponenti i sitema razdvajaju u dva diskunktna podskupa (stanja iznad i ispod praga ispravnosti). Zatim je formulisan matematički model kojim se istovremeno određuje ceo skup kritičnih komponenata. Pristup je ilustrovan na stablu neispravnosti malih dimenzija i u

daljim istraživanjima će se eksperimentisati sa stablima neispravnosti različitih dimenzija i struktura. Pored toga, dalja istraživanja će biti usmerena u pravcu nehomogenih *multi state* sistema, kao i ka uključivanju u analizu troškova dostizanja određenih stanja.

LITERATURA

[1] Barlow, R.E, Wu, A.S (1978) Coherent Systems with Multi-State Components. Mathematics of Operations Research, Vol. 3, No. 4, 275-281

[2] Du, D, Ko, K, Hu, X (2012) *Design and analisys of approximation algorithms*, Springer Optimization and its applications 62

[3] Kuo, W, Zhu, X (2012) Importance measures in reliability, risk, and optimization, John Wiley&Sons, Chichester.

[4] Kvassay, M, Zaitseva, E, Levashenko, V (2015) Minimal ut stes and direct partial logic derivates in reliability analysis. In Nowakowski et al. Safety and Reliability: Methodology and Appliation, Taylor & Francis Group, London, 241-248

[5] Levitin G, Lisnianski A (1999) Importance and sensitivity analysis of multi-state systems using the universal generating function method. Reliability Engineering and System Safety 65, 271–282

[6] Levitin, G, Podofillini, L, Zio, E (2003) Generalised importance measures for multi-state elements based on performance level restrictions. Reliability Engineering and System Safety 82, 287–298

[7] Lisnianski, A., Frenkel, I., & Ding, Y. (2010). Multi-state system reliability analysis and optimization for engineers and industrial managers. Springer Science & Business Media.

[8] Ramirez-Marquez, Coit, D.W (2007) Multi-state component criticality analysis for reliability improvement in multi-state systems. Reliability Engineering and System Safety 94, 1608-1619

[9] Ramirez-Marquez, J. E, Rocco, C.M, Gebre, B.A, Coit, D.W, Tortorella, M (2006) New insights on multi-state component criticality and importance. Reliability Engineering and System Safety 91, 894–904

[10] Vujošević, M, Makajić-Nikolić, D, Pavlović, P (2017) A New Approach to Determination of the Most Critical Multistate Components in Multi-State Systems, Proceedings of 2nd Maintenance Forum 2017, Maintenance and Asset Management Montenegro, Bečići, 23-27th May 2017, 141-147

[11] GLPK (2017) www.gnu.org/software/glpk/

[12] Xie M, Dai, Y-S, Poh, K-L (2004) Computing System Reliability, Models and Analysis, Kluwer Academic Publishers, New York

[13] Yingkui, G, Jing, L (2012) Multi-State System Reliability: A New and Systematic Review. Procedia Engineering 29, 531-536

[14] Zaitseva, E (2012) Importance Analysis of a Multi-State System Based on Multiple-Valued Logic Methods. Chapter 8 in A. Lisnianski and I. Frenkel (eds.), Recent Advances in System Reliability, Springer Series in Reliability Engineering, Springer-Verlag, London, 113-134

[15] Zio E. (2009) Reliability engineering: Old problems and new challenges. Reliability Engineering and System Safety 94, 125–141

[16] Zio E. (2011) Risk importance measures. In:PhamH,editor. Safety and Risk Modeling and its Applications. London:Springer, 151–196.

2017

PRIMENE OI U EKOLOŠKOM MENADŽMENTU I UPRAVLJANJU PRIRODNIM RESURSIMA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

NATO BOMBARDOVANJE REPUBLIKE SRBIJE 1999. GODINE - MODEL PROCENE EKOLOŠKOG RIZIKA

SAŠA T. BAKRAČ[1]

[1] Vojnogeografski institut, sbakrac@yahoo.com

Rezime: *U ovom radu daje se uopšten okvir procene ekološkog rizika kao posledica NATO bombardovanja Republike Srbije 1999. godine. Konceptualno rad je postavljen tako da opisno pruža uvid u primenljivost datog modela procene ekološkog rizika. U radu se daje i uopšten osvrt na ekološke posledice usled NATO bombardovanja prostora Republike Srbije 1999. godine. Smatra se da su ekosistemi, staništa i stanovništvo na teritoriji Republike Srbije pretrpeli velike, a često i nenadoknadive, posledice. Dati model procene ekološkog rizika je utemeljen na naučno proverenoj metodologiji. Posebno se ističe problem produženog delovanja izazvanih posledica i potreba šireg naučnog pristupa u proceni sadašnjeg stanja životne sredine. Od rada se očekuje da skrene pažnju, podstakne diskusiju i otvori rešavanje ovog problema u domaćoj i široj javnosti.*

Ključne reči: *Životna sredina, procena ekološkog rizika, ekološke posledice, osiromašeni uranijum, zagađivač.*

Abstract: *This paper presents a generalized framework of ecological risk assessment as a result of NATO bombing of Republic Serbia in 1999. Conceptually work is set to provides insight descriptive into the applicability of this model of the ecological risk assessment. The paper gives a general overview of the ecological impact and damage caused by the NATO bombing in the territory of Republic Serbia in 1999. It is believed that the ecosystems, habitats and populations in the territory of the Republic of Serbia have suffered enormous and often non recoverable consequences. The present model of the ecological risk assessment is based on the scientifically proven methodology. Particularly pointed is the problem of prolonged action caused by the effects and the need for wider scientific approach in the evaluation of the current state of the environment. From this work are expected: to draw attention, encourage discussion and open solution of the problem in the domestic and the general public.*

Keywords: *environment, ecological risk assessment, ecological consequences, depleted uranium, pollutant.*

1. UVOD

Predlog modela procene ekološkog rizika usled NATO bombardovanja Republike Srbije 1999. godine (u daljem tekstu Bombardovanje) je predmet ovog rada. Predmet rada je prostorno određen teritorijom Republike Srbije. Vremensko određenje predmeta rada obuhvata period od Bombardovanja do danas.

Cilj rada je da se ponudi model, na naučno zasnovanom pristupu, pri proceni ekološkog rizika, odnosno da se na osnovu datog modela ponudi način utvrđivanja ekološkog stanja na teritoriji Republike Srbije kao posledica Bombardovanja. U radu se daje model procene ekološkog rizika, koristeći se metodologijom, koja je proverena i naučno dokazana. Analiza izazvanih efekata zagađenja, procena aktuelnih rizika, ostvarenih i produženih delovanja stresora zahteva potrebu interdisciplinarnog naučnog pristupa u proceni sadašnjeg stanja životne sredine.

Uzimajući u obzir aktuelo stanje životne sredine kon nas i u svetu, sa narastajućim uticajem i posledicama izazvanim tzv. klimatskim promenama, ratni sukobi su otežavajuća činjenica i okolnost koja doprinosi dodatnom pogoršanju tog stanja. U dosadašnjim razmatranjima naše i šire naučne javnosti postavljena su brojna pitanja, dokazi i pretpostavke o razmerama posledica zagađenja životne sredine izazvane Bombardovanjem. Primenom datog modela procene ekološkog rizika, dobili bi se precizni odgovori o stanju životne sredine, isključujući uticaj na čoveka-stanovništvo. Za procenu rizika Bombardovanja na čoveka, odnosno stanovništvo, bilo bi neophodno primeniti neki od postojećih modela procene rizika koji na naučan način obrađuju ovu problematiku.

2. UOPŠTE O BOMBARDOVANJU

Srbija je vojno napadnuta od strane NATO pakta 24. marta 1999. godine. Bombardovanje je započelo vazdušnim napadima avijacijom i krstarećim raketama na više područja Republike Srbije.

Nakon 79 dana agresije izvršeno je 2.300 udara na 995 objekata širom teritorije SRJ (Srbije i Crne Gore), a najvećim delom Republike Srbije. Dosadašnja iskustva i sprovedena istraživanja govore da su nanete nesagledive posledice na životnu sredinu, kao što su: izlivanje štetnih materija u vodotokove, emisija štetnih gasova od sagorevanja opasnih materija (goriva, maziva, hemijski opasne materije i sl.), upotrebe municije i bombi sa osiromašenim uranijumom i sl. (Mišić i Đurović, 2009).

Bombardovanjem je, između ostalih, direktno i indirektno prekršen veliki broj međunarodnih konvencija, rezolucija i protokola koje se odnose na životnu sredinu kao što su:

- Međunarodna konvecija o sprečavanju zagađivanja mora uljem;
- Međunarodna konvencija o intervenciji na otvorenom moru za slučaj nesreće koju prouzrokuje zagađenje naftom;
- Sporazum o ribarstvu, vodama Dunava, između vlada FNRJ, NR Bugarske, NR Rumunije i SSSR-a;
- Konvencija o močvarnim područjima koja su od značaja naročito kao staništa ptica močvarica „Ramarska konvencija“;
- Sporazum o zaštiti voda reke Tise i njenih pritoka od zagađivanja;
- Konvencija o ribolovu i očuvanju biološkog bogatstva otvorenog mora;
- Konvenciju o delovanju na životnu sredinu donetu 1977. god.;
- Konvencija o zaštiti svetske prirodne baštine iz 1982. god.;
- Stokholmsku deklaraciju o životnoj sredini iz 1972. god.;
- Konvenciju o zabrani upotrebe određenih ubojnih sredstava;
- Bečku konvenciju o zaštiti ozonskog omotača;
- Montrealski protokol o supstancama koje oštećuju ozon (1987. god. sa izmenama 1997. god.);
- Konvencija o prekograničnom zagađenju vazduha na velikim udaljenostima;
- Konvencija o klimatskim promenama;
- Konvencija o prekograničnim uticajima industrijskih akcidenata (Pavlović, 2012).

Specifičnost Bombardovanja bila je ta što je NATO gađao civilne ciljeve, posebno u odmakloj fazi rata. U 1991. dejstvu meta su bili sledeći objekti: industrija (89), privredni objekti (128), energetska postrojenja (120), objekti infrastruktute (357), zdravstvene ustanove (48), obrazovne ustanove (101), verski i kulturni objekti (183), (Smiljanić 2009).

3. MODEL PROCENE EKOLOŠKOG RIZIKA

Razmatrajući problematiku ekološke ugroženosti teritorije Republike Srbije, kao posledice Bombardovanja, pretpostavlja se da preti opasnost u ekološkom smislu od prekomernog zagađivanja. To zagađivanje prostora usled Bombardovanja ima vremensku kategoriju trenutnog i naknadnog, odnosno razmatra se od trenutka izvedenog dejstva i ostvarenih posledica pa do produženih-odloženih delovanja (Đurović i sar., 2011). Pretpostavlja se da je ekosistemima i staništima Republike Srbije naneta ekološka šteta, kao i da su prisutni brojni ekološki problemi koji mogu izazazvati negativne ekološke posledice, kao što su zagaženost zemljišta i vodotokova, emisije štetnih materija u vazduh, kontaminacija organizama i sl.

Da bi se uspešno pristupilo rešavanju ovih dilema, potrebno je koristiti se adekvatnom metodologijom zasnovanom na naučnoj osnovi. U predmetnoj proceni koristio bi se model procene ekološkog rizika koji je razvijen od strane Američke agencije za zaštitu životne sredine (U.S. EPA, 1998). Primenjena metodologija procene ekološkog rizika, koja je međunarodno potvrđena kako u teorijskom tako i u praktičnom pogledu, daje dobru osnovu za njenu implementaciju i u ovom slučaju.

U tom smislu, primenom date metodologije procene ekološkog rizika utvrdilo bi se trenutno ekološko stanje i prisutni rizici sa ciljem njihovog smanjenja u budućnosti. Uopšteno, procena ekološkog rizika može se definisati na način da je to proces: sakupljanja, organizovanja, analiziranja i prezentovanja naučnih podataka u cilju donošenja odluka kojima se obezbeđuje zaštita i poboljšanje ekološkog stanja nekog prostora, videti (Bakrač 2004; Suter, 2006 i U.S. EPA, 1998). Ovako definisana, procena ekološkog rizika predstavlja jedinstven oblik procene koji uključuje termin rizik i kojim se pretpostavlja uzročno-posledična veza (odnos) stresor - odgovor. Pod pojmom ekološki rizik podrazumeva se funkcija verovatnoće datog izvora pretnje - stresora, koja koristi određenu potencijalnu osetljivost nekog ekološkog sistema, i odgovarajući odgovor istog na dati događaj. Pod pojmom stresor podrazumeva se bilo koji fizički, hemijski ili biološki entitet koji može da izazove, indukuje negativnu reakciju (Suter, 2006).

Procena ekološkog rizika od Bombardovanja je proces koji bi se sprovodio po fazama na sledeći način:

- Planiranje procene
- Formulacija problema
  - uspostavljanje jasnih ciljeva i odrednica upravljanja
  - određivanje stresora
  - izbor i definisanje ključnih tačaka procene
  - izrada konceptualnog modela
  - izrada plana analize
- Sprovođenje faze Analize rizika
  - procena podataka i modela za Analizu
  - karakterizacija izloženosti i ekoloških efekata
- Sprovođenje faze Karakterizacije rizika
  - ocena rizika
  - opis rizika
  - povezivanje dobijenih informacija sa odlukama menadžmenta

Imajući u vidu složenost i obimnost modela, u ovom radu se daje uopšten prikaz, sa akcentom na definisanju faza procene i koncepualnog modela, kao jednog od važnijih elemenata ukupnog procesa i osnove početne faze naučnog dela procene.

3.1. Planiranje procene

Planiranje procene ekološkog rizika mora biti odvojeno od naučnog dela procene (U.S.EPA,1998).
U konkretnom slučaju obuhvatalo bi:

- formiranje radne grupe (tima) za procenu, koju bi činile eminentne ličnosti iz nauke, menadžmenta, i drugih oblasti potrebnih da bi se procena uspešno sprovela, a što je u skladu sa metodološkim okvirom procene ekološkog rizika (Bakrač, Milanović, Marić, Marković, 2012)
- jasno ustanovljen i iskazan cilj/ciljevi i zadaci upravljanja,
- opcije upravljanja u kontekstu ostvarenja postavljenog cilja/ciljeva i
- sporazum o delokrugu, kompleksnosti i fokusiranju procene rizika uključujući očekivani rezultat i tehničku i finansijsku pomoć potrebnu za ostvarenje postavljenog cilja/ciljeva.

Jedan od najvažnijih proizvoda planiranja bio bi uspostavljanje cilja/ciljeva i zadataka upravljanja. U ovom slučaju glavni cilj bi mogao biti*:* Utvrđivanje kvaliteta životne sredine na teritoriji Republike Srbije usled izloženosti Bombardovanju.
Neki od zadataka upravljanja datom procenom, koji eksplicitnije objašnjavaju moguće ciljeve i koji se objedinjuju u glavnom cilju, mogli bi biti:

- Utvrđivanje trenutnog stanja zagađujućih materija u životnoj sredini, uključujući doze zračenja i trenutne količine za pojedine zagađujuće materije
- Utvrđivanje stanja kvaliteta elemenata životne sredine (voda, vazduh, zemljište)
- Utvrđivanje stanja zdravlja biljaka, životinja i drugih organizama, isključujući čoveka.
- Uspostavljanje/sprovođenje mera za poboljšanje stanja životne sredine.

3.2. Formulacija problema

Formulacija problema, kao prva od faza naučnog dela procene, bi bio proces stvaranja preliminarnih hipoteza o tome kakvi su se ekološki efekti pojavili ili se mogu pojaviti u datoj proceni, videti Suter (2006). Ova faza bi dala osnovu za kompletnu ekološku procenu rizika od posledica Bombardovanja. Iz prikupljenih (dostupnih) podataka, pripremile bi se informacije o: definisanim stresorima i ključnim tačkama procene; izrađenom konceptualnom modelu/lima i definisanim hipotezama rizika i definisanom planu za analizu rizika.

Stresore bi trebalo rangirati prema potencijalnom riziku za sve resurse životnog prostora Republike Srbije, na bazi profesionalne procene od strana radne grupe. Rezultatima uporedne analize mogle bi se prvo rangirati zagađujuće materije bombardovanih i širih prostora, radi verifikacije pretpostavke da su iste najveći stresori za životnu sredinu. Neophodno bi bilo ispitati svaki stresor posebno, radi proučavanja inteziteta njihovog uticaja na životnu sredinu i radi utvrđivanja njihovog trenutnog stanja i eventualog povećanja u budućem vremenu.

Potencijalni stresori mogli bi biti:

- fizički zagađivači,
- zagađujuće materije u vazduhu,
- zagađujuće materije u zemljištu,

- teratogene materije,
- zagađujuće materije u vodi

Ključne tačke procene prestavljaju izraz aktuelnih vrednosti životne sredine koju želimo sačuvati, videti U.S. EPA (1998). Ključne tačke ove procene morale bi biti: ekološki relevantne, da su u vezi sa postojećim stresorima i da su u vezi sa prethodno donesenim ciljevima upravljanja.

Potencijalne ključne tačke procene mogle bi biti:

- zdravlje biljaka, životinja i drugih organizama,
- kontaminiranost prostora,
- % zastupljenost oboleljevanja organizama,
- rasprostranjenost i brojnost organizama,
- kvalitet podzemnih i tekućih voda i zemljišta i
- kvalitet hrane u lancu ishrane.

Konceptualni model u predmetnom slučaju spadao bi u grupu složenih modela i mogao bi se dati u obliku dijagrama (Slika 1). Prema definiciji „konceptualni modeli su matematički modeli koji su sastavljeni od manjeg broja jednostavnih elemenata, i svaki element simulira određenu fazu procesa“, (U.S. EPA,1998). U ovom slučaju dijagram procene prestavljao bi opis i vizuelnu prezentaciju predviđenih odnosa između ekoloških entiteta (izabranih ključnih tačaka procene) i stresora kojima mogu biti izloženi. Svaki od puteva u u dijagramu jesu i hipoteze rizika jer se tiču određenih informacija vezanih za ovu procenu. Kompleksnost ovog konceptualnog modela - datog dijagramom (Slika 1) zavisila bi od kompleksnosti problema: od broja stresora, od broja ključnih tačaka, prirode efekata i karakteristika ekosistema. Za slučaj ove procene, može se sa sigurnošću tvrditi da bi konceptualni model bio složen-kompleksan.

Hipoteze rizika su predloženi odgovori na pitanja procenitelja rizika o tome kakve će reakcije ključne tačke pokazati kada se izlože delovanju stresora i kako će se ta izloženost desiti. Hipoteze rizika su specifične pretpostavke o potencijalnom riziku ključnih tačaka. U konceptualnom modelu hipoteze rizika prestavljaju veze i mogu biti iskorišćene i za postavljanje pitanja važnih za istraživanje a da bi se procenile logičke i empirijske posledice, u cilju stvaranja osnove za procenu rizika.

Što se tiče uspostavljanja hipoteza rizika, u ovom slučaju mogle bi biti pokrenute: zaštitom ekoloških vrednosti, uticajem stresora na organizme ili izazvanim ekološkim efektima (obolevanje organizama, zagađenjem i gubitkom staništa i sl). Tako, neke od hipoteza bi mogle glasiti: prekomerno zagađenje elemenata životne sredine uzrokuje učestalost obolevanja organizama.

Za definisanje i izradu plana analize bilo bi potrebno još jednom razmotriti postavljene hipoteze rizika da bi se odredio način procenjivanja, koristeći raspoložive i novoprispele podatke. U obavezi radne grupe bi bilo da napravi i komparativnu tj. uporednu analizu rizika, radi pomoći pri definisanju, koji stresori i ključne tačke procene treba da budu predmet ispitivanja.

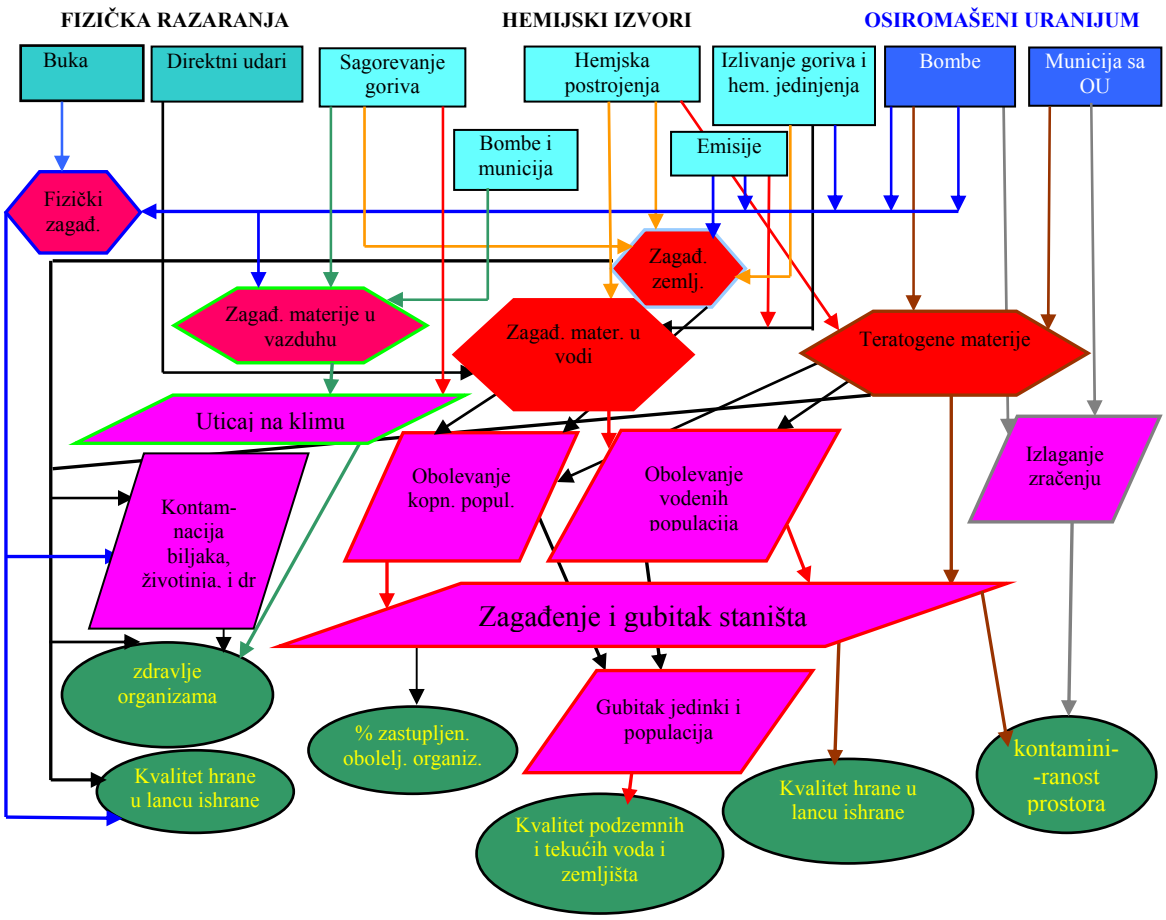
3.3. Sprovođenje faze analize rizika

Analiza rizika je strateška faza u proceni ekološkog rizika (US EPA, 1998; Suter, 2006; Bakrač, 2008). U datom slučaju ova faza bi bila najobimnija i najzahtevnija od svih faza procene, kako u kvantitativnom tako i u kvalitativnom smislu. Analizom bi se ispitale dve osnovne komponente rizika, izloženost i efekti, i njihova međusobna veza.

Pre nego što bi se pristupilo realizaciji karakterizacije izloženosti i karakterizacije ekoloških efekata, bilo bi potrebno izvršiti procenu dostupnih podataka i definisanog modela analize, što bi uključilo i ocenu mogućih neizvesnosti koje prate ovu fazu. To bi obuhvatalo procenu mogućnosti i ograničenja različitih tipova podataka, ocenu studije modelovanja, kao i ocenu ukupne neizvesnosti u pogledu kvaliteta podataka i postavljenog modela.

Nakon sprovedenih ocena o dostupnim podacima i projektovanoj studiji modelovanja, kao i eventualnih neizvesnosti i nedostataka u dotadašnjem toku procene, pristupilo bi se karakterizaciji izloženosti i karakterizaciji efekata, kao sledećim fazama analize.

Karakterizacija izloženosti oslanjala bi se na postavljeni model analize. U zavisnosti od vrste (karaktera) procene primenjuju se i adekvatni modeli (modeli koji su univerzalni ili se prave posebni modeli) (Suter, 2006). U ovoj proceni proces bi se zasnivao na analizi izloženosti i opisu stepena i obrasca kontakta ili istovremenog pojavljivanja definisanih stresora i receptora. Finalni proizvod ove faze bio bi tzv. profil izloženosti.



Slika 1. Dijagram konceptualnog modela

Karakterizacija ekoloških efekata kao sledeća faza analize obuhvatala bi rad procenitelja koji analizira-opisuje efekte ekološkog odgovora i povezuje ih sa izabranim ključnim tačkama procene. Uopšteno, karakterizacija bi otpočela ocenom podataka o efektima izazvanim datim stresorom/stresorima, a nastavila bi se analizom ekološkog odgovora, čime bi se ocenilo kako se obim efekata menja sa variranjem nivoa stresora. Ovim postupkom procenitelj (procenitelji) bi dokazali da su stresori izazvali određeni efekat, što povezuje efekte sa ključnim tačkama procene i definisanim konceptualnim modelom. Zaključci bi se sumirali u profilu stresor-reakcija.

3.4 Sprovođenje faze karakterizacije rizika

Finalna faza procene ekološkog rizika jeste karakterizacija rizika. Ona predstavlja kulminaciju planiranja, formulacije problema i analize predviđenih i uočenih neželjenih ekoloških efekata vezanih za definisane ključne tačke (U.S. EPA, 1998).

Cilj procenitelja rizika u ovom slučaju bio bi da steknu potpun uvid u veze između definisanih stresora, efekata i ključnih tačaka procene i da dođu do zaključaka koji se tiče izloženosti i štete izazvane postojećim ili predviđenim ekološkim efektima (ekološkim rizikom). Rezultati faze analize procenitelji bi koristili da razviju ocenu rizika ekoloških entiteta, pre svega uključujući ključne tačke identifikovane u formulaciji problema. Takođe dao bi se i opis rizika u kontekstu važnosti bilo kog neželjenog efekta, kao i dokaza koji podržavaju njegovu verovatnost. Na kraju, obaveza procenitelja bi bila da identifikuju i sumiraju neizvesnosti i pretpostavke u proceni rizika, i da dostave izveštavaj menadžerima rizika o zaključcima procene.

Zaključci prezentovani u karakterizaciji rizika od posledica Bombardovanja treba da obezbede jasnu informaciju menadžerima rizika kako bi se donela pravilna odluka vezana za dati problem. Ukoliko rizici nebi bili dovoljno definisani i jasni da bi se donela odluka menadžmenta, tada menadžeri rizika mogu odlučiti da se ponove jedna ili više faza procene. Ponovna ocena konceptualnog modela (i povezanih hipoteza rizika) ili sprovođenje dodatnih studija može poboljšati ocenu rizika (Suter, 2006).

4. ZAKLJUČAK

Procena je da su Nato bomardovanjem 1999. godine nanete ogromne štete i posledice životnoj sredini Republike Srbije. Pretpostavlja se da su kao posledica Bombardovanja opasne materije dospele u vazduh, vodu i zemljište. U procesu kruženja istih kroz lance ishrane mnoge od njih su dospele i dospevaju u organizme. Poznato je da veliki broj detektovanih štetnih materija imaju teratogeno, kancerogeno i mutageno dejstvo. Smatra se da će posledice ispoljavati na biljni i životinjski svet i ekosisteme u celini na različite načine i, procenjuje se, u dugom vremenskom periodu

Glavni cilj ovog rada je bio da skrene pažnju na potrebu utvrđivanja ekoloških posledica Bombardovanja i detektovanja trenutnog ekološkog stanja u Republici Srbiji. U tom smislu bi se primenom modela metodologije procene ekološkog rizika najbolje odgovorilo i rešio predmetni problem. Smatra se da bi dati model procene ekološkog rizika odgovorio postavljenim pretpostavkama i da bi doprineo ukupnom poboljšanju stanja kvaliteta životne sredine u Republici Srbiji.

Ponuđeni model procene je zasnovan na naučno potvrđenoj metodologiji koji je razvila Agencija za zaštitu životne sredine US EPA. Njegova uspešnost i potvrđenost, u slučaju predmetne procene, zahtevala bi doslednu primenu i dobru organizaciju. To bi se odnosilo prvenstveno na izbor: menadžmenta i eksperata – procenitelja i adekvatnu ekonomsku podršku.

Smatra se da bi dobijeni rezultati procene dali podatke za praćenje i poboljšanje ekološkog stanja u Republici Srbiji, ali i da bi bili dobra osnova za dalja istraživanja i ponovne procene. Obzirom na kompleksnost predmetne problematike, a radi što boljeg razumevanja problema istraživanja ovaj rad daje samo uopšten pristup, tako da su faze procene obrađivane u skraćenom obliku. Konkretuzacija rada bila bi proverena i primenjena na širim teorijsko-metodološkim osnovama.

LITERATURA

[1] Bakrač, S. (2004). *Procjena ekološkog rizika u sistemu upravljanja zaštitom životne sredine,* magistarski rad. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.

[2] Bakrač, S. (2008). *Razvoj metodologije procene i upravljanja ekološkim rizikom na primeru Bokokotorskog zaliva*, doktorski rad. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.

[3] Bakrač, S., Milanović, M., Marić, M., Marković, S. (2012). Procena ekološkog rizika u funkciji zaštite životne sredine. *Vojnotehnički glasnik*, broj 4, godina LX, oktobar-decembar, 165-178.

[4] Ćirović, M., Petrović, N., Makajić-Nikolić, D. (2016). Procena rizika u ekološkom menadzmentu. *Zbornik radova sa konferencije Symopis-2016*. 49-52.

[5] Đurović, B., Spasić-Jokić, V., Petković, S., Fortuna, D., Selaković-Mićunović, V., Atlagić, N. (2011). *Osiromašeni uranijum-metode detekcije, saniranje neposrednih efekata i prevencija kasnih posledica*. Beograd: Draslar partner.

[6] Mišović, M., Đurović, B. (2000). Glavna ekološka žarišta - osnovni podaci. *Zbornik radova sa stručnog skupa "Ekološki aspekti radioaktivne i hemijske kontaminacije tokom agresije NATO pakta na SRJ".* 19-26.

[7] Pavlović, V. (2012). *Ekologija i rat, Izveštaj nezavisnih eksperata o NATO bombardovanju SRJ*. Beograd: CEPOR, FPN.

[8] Smiljanić, S. (2009). *Agresija NATO na SRJ, Vojska Jugoslavije u odbrani od agresije 1999.godine*, knjiga prva. Beograd: Svedočanstva.

[9] Suter, GW. 2006. *Ecological risk assessment*, Second Edition. Boca Raton-Florida: CRC Pres.

[10] U.S. EPA. (1998). *Guidelines for ecological risk assessment*. Washington, DC: EPA/630/R-95/002Fa.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OPTIMIZACIJA BROJA EKSPERIMENATA ADSORPCIJE PRIMENOM MODELA ODZIVNIH POVRŠINA

OPTIMIZATION OF ADSORPTION EXPERIMENTS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

ZLATE VELIČKOVIĆ[1*], ZORAN BAJIĆ[1], LJUBOMIR GIGOVIĆ[1], RADOVAN KARKALIĆ[1], KRSTIMIR PANTIĆ[2], ALEKSANDAR MARINKOVIĆ[2]

[1] Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, Pavla Jurišića – Šturma 33, Beograd 11000, office@va.mod.gov.rs
[2] Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, Beograd 11000, tmf@tmf.bg.ac.rs
*zlatevel@yahoo.com

Rezime: *U ovom istraživanju, vršeno je upoređivanje rezultata adsorpcije jona olova iz vode na adsorbentu dobijenog amino modifikacijom otpadnih vlakana poliakril nitrila (d-PAN) koji su vršeni standardnom metodom (180 eksperimenata) sa rezultatima dobijenim predikcijom pomoću metode odzivnih površina – RSM (25 eksperimenata). Rezultati standardnih eksperimenata su upoređeni sa rezultatima predikcije RSM modela dobijenog upotrebom komercijalnog softvera Design-Expert® 9.0, Stat-ease Inc. Minneapolis, SAD. Validacija rezultata (eksperiment i predviđanje) obavljena je testiranjem kvaliteta regresione analize pomoću ANOVA testa koji daje zadovoljavajuće rezultate. Veliko preklapanje eksperimentalnih podataka i rezultati prediktivnih eksperimenata pokazuju da se ovaj metod uspešno može koristiti za prognoziranje rezultata adsorpcije. Zbog toga smanjenje broja eksperimenata potrebnih za ispitivanje adsorpcionih karakteristika adsorbenta značajno doprinosi očuvanju životne sredine kao i ekonomskim pokazateljima istraživanja.*

Ključne reči: adsorbent, eksperiment, metodologija odzivnih površina (RSM), životna sredina.

Abstract: *In this study, a comparison of the adsorption results which were carried out using the standard method (180 experiments) with results obtained by the prediction using the response surface methodology - RSM (25 experiments) was made. The adsorption of lead ions from water was completed on the adsorbent obtained by amino modification of the waste fibres of polyacrylic nitrile (d-PAN). The results of the standard experiments were compared with the results of the RSM model prediction using the commercial software Design-Expert® 9.0, Stat-ease Inc. Minneapolis, USA. Validation of the results (experiment and prediction) was performed by testing the quality of regression analysis using an ANOVA test that yielded satisfactory results. Great overlapping of the experimental data and the results of predictive experiments indicate that this method can be successfully used to predict adsorption results. Therefore, the reduction in the number of experiments required to examine the adsorbent properties significantly contributes to the preservation of the environment and to the economic indicators of the research.*

Keywords: *Adsorbent, experiment, response surface methodology (RSM), environment*

1. UVOD

Olovo je klasifikovano među najosetljivijim hemijskim elementima i važnijim uzrocima problema u životnoj sredini. Ono može izazvati ozbiljne zdravstvene probleme nakon ulaska u lanac ishrane ili korišćenjem kontaminirane vode za piće. Olovo blokira esencijalne funkcionalne grupe u živim tkivima jer zamenjuju druge metalne jone ili modifikuju aktivne biološke molekularne konformacije [Bajic et al. 2013]. Zbog svoje nepromenljive prirode, ovaj teški metal koji se javlja uglavnom iz prerade ruda i industrijskih aktivnosti predstavljaju veliki problem zagađenja. Prema preporukama svetske zdravstvene organizacije, maksimalni dozvoljeni sadržaj jona Pb(II) u vodi za piće su 0,015 mg dm^{-3}.

Istraživanje i razvoj novih metoda i materijala za uklanjanje zagađujućih materija iz vode predstavlja veliku pretnju životnoj sredini. Eksperimenti adsorpcije neminovno nameću korišćenje vrlo štetnih hemikalija u eksperimentima. Ispitivanje karakteristika adsorbenta na osnovu kojeg dobijamo informacije o

primenljivosti ovih u stvarnom sistemu uključuju stotine eksperimenata adsorpcije koji kombinuju različite promenljive faktore (masa adsorbentna, koncentracija početnog rastvora, pH vrednost rastvora, temperatura i vreme adsorpcije). Najnovija istraživanja koriste različite metode modelovanja i optimizacije u cilju predikcije rezultata. Metoda odzivnih površina – RSM, adaptivne neuronske mreže (neuro-fuzzi mreže) i diskretna empirijska metoda interpolacije (DEIM) su korišćeni češće od drugih [Bajić et al. 2016, Bhran et al. 2016; Budimirović et al. 2017a, 2017b; Jafariet al. 2015, Liu et al. 2016, Taleb et al. 2016 i Xiyili et al. 2017].

U ovoj studiji ispitivana je mogućnost primene novog adsorbenta dobijenog površinskom amino modifikacijom vlakana poliakrilih nitrila (PAN) pomoću dietilen triamina (DETA) kao adsorbenta za uklanjanje jona Pb(II) iz vodenih rastvora. Dobijeni adsorbent je ispitan u 180 eksperimenata gde je određena adsorpciona ravnoteža, termodinamika, kinetika i zavisnost od pH vrednosti. Rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim od 25 eksperimenata projektovanih pomoću RSM modela.

2. EKSPERIMENTALNE POSTAVKE ISTRAŽIVANJA

Šaržni eksperimenti adsorpcije vršeni su kao u sličnim istraživanjima [Bajić et al. 2016, Budimirović et al. 2017] sa istom masom adsorbenta i različitim početnim koncentracijama rastvora jona Pb(II) od 0,096; 0,192; 0,481; 0,963; 1.923; 4,82 i 9.63 mg dm^{-3}. Da bi se ispitao uticaj početne pH vrednosti rastvora na adsorpciju Pb(II) jona, početne pH vrednosti rastvora su varirane su između 3,0 i 10,0. Termodinamički i kinetički eksperimenti vršeni su na temperaturama od 25, 35 i 45 °C. Uticaj vremena reakcije na adsorpciju jona olova pratio se u intervalu između 5 i 120 minuta. Količina adsorbovanih jona izračunava se iz razlike između inicijalne i ravnotežne koncentracije (jednačina 1).

$$q=\frac{C_{\mathrm{i}}-C_{\mathrm{f}}}{m}V \tag{1}$$

gde je q kapacitet adsorbenta u mg g^{-1}, C_{i} i C_{f} su inicijalna i ravnotežna koncentracija olova u mg dm^{-3}, V je zapremina rastvora u dm^3 i m je masa adsorbenta u g.

Predikcija rezultata adsorpcije korišćenjem metode odzivnih površina vršeno je u eksperimentima adsorpcije Pb(II) jona u šaržnom sistemu prema planu istraživanja datom u tabelama 1 i 2. RSM model, zasnovan je na pet nivoa vrednosti i četiri faktora sa centralnom rotirajućom tačkom. Kodirane i operativne vrednosti izabranih varijabli prikazane su u tabeli 1 i 2, zajedno sa eksperimentalnim planom, koji je sadržao 25 eksperimenata sa 5 ponavljanja u centralnoj tački. Svaki eksperiment (izuzev centralne tačke) vršen je u duplikatu. Izlazna varijabla je bila adsorpcioni kapacitet.

Tabela 1: Kodirane i stvarne vrednosti nezavisnih varijabli za optimizaciju dizajna adsorpcije Pb(II)

Nezavisne varijable	**Kodirane i stvarne vrednosti**				
	-2	**-1**	**0**	**1**	**2**
Temperatura, X_1 (ºC)	25	30	35	40	45
pH vrednost, X_2	2	4	6	8	10
Početna koncentracija, X_3 (mg dm^{-3})*	0.1	2.5	5	7.5	10
Vreme, X_4 (min)	5	25	45	65	90

Tabela 2: Eksperimentalni dizajn

No.	**X_1, T (°C)**	**X_2, pH vrednost**	**X_3, C_i (mg dm^{-3})**	**X_4, t (min)**
1.	30	4	2,5	25
2.	40	4	2,5	25
3.	30	8	2,5	25
4.	40	8	2,5	25
5.	30	4	7,5	25
6.	40	4	7,5	25
7.	30	8	7,5	25
8.	40	8	7,5	25
9.	30	4	2,5	65

10.	40	4	2,5	65
11.	30	8	2,5	65
12.	40	8	2,5	65
13.	30	4	7,5	65
14.	40	4	7,5	65
15.	30	8	7,5	65
16.	40	8	7,5	65
17.	25	6	5	45
18.	45	6	5	45
19.	35	2	5	45
20.	35	10	5	45
21.	35	6	0,1	45
22.	35	6	10	45
23.	35	6	5	5
24.	35	6	5	90
25.	35	6	5	45

Podaci dobijeni u ovim eksperimentima su izračunati korišćenjem polinoma prvog reda a koeficijenti odzivne funkcije i njihova statistička značajnost su određeni metodom najmanjih kvadrata korišćenjem komercijalnog softvera Design-Expert, Software Version 9 (*Stat-Ease, Inc. 2021 E. Hennepin . Suite 480 Minneapolis, USA*). Fišerov test je korišćen za određivanje adekvatnosti modela dok je Studentova raspodele distribucije računata kako bi se procenio značaj koeficijenata. Koncentracije Pb(II) jona su merene pomoću plazma masenog spektrometra (Agilent Technologies 7500ce ICP-MS System).

3. REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA

Izvršena je optimizacija pomoću četiri promenljiva faktora u funkciji kapaciteta adsorpcije q. Kodirane i stvarne vrednosti nezavisnih vrednosti su rezimirane u tabeli 1. Koeficijenti odgovora funkcije i njihova statistička značajnost procenjeni su metodom najmanjih kvadrata pomoću softvera *Design-Expert V.9.0, Stat-Ease, Inc.*

Eksperimentalni dizajn se sastojao od 25 eksperimenata. Optimalna tačka maksimalnog adsorpcionog kapaciteta predviđena je korišćenjem linearne funkcije sa transformacijom pomoću prirodnog logaritma. Korišćena funkcija uspostavlja vezu između predviđenog izlaza i nezavisnih varijabli x_i. Adekvatnost modela linearne regresije dokazana je ANOVA testom, dok je značajnost koeficijenta modela testirana pomoću Studentovog testa. Eksperimentalni podaci su analizirani u postupku regresije u metodi odzivnih površina upotrebom sledećeg linearnog modela. Ovaj model je korišćen u odzivu (Y) i dat je u jednačini 2.

$$\ln(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{4} \beta_i x_i \qquad (2)$$

Gde su, β_0 i βi regresioni koeficijenti za presek i nagib prave, a x_i promenljive varijable. Rezultati ANOVA testa ukazuju na to da je linearni model značajan (F = 60,01) sa standardnom devijacijom od 0,45 i p<0,0001. Vrednost R^2 od 0,9231 pokazuje da podaci dobijeni RSM modelom imaju dobro poklapanje sa eksperimentalnim podacima. Predviđena vrednost R^2 od 0,8769 je u razumnoj korelaciji sa prilagođenom vrednošću R^2 od 0,9077, sa odnosom signala i šuma od 25.8. Sve promenljive vrednosti (varijable) pokazale su značajan uticaj na izlazne podatke.

Dobijeni rezultati RSM modela, koji je pomoću polinomnog regresionog modela obrađivao kodirane vrednosti četiri različite procesne varijable dajući na kraju najbolji model za uklanjanje Pb(II) jona, jednačina 3:

$$\ln(q) = 4.2436 + 0.0068367T + 0.64195pH + 0.21371C_i + 0.011432t \qquad (3)$$

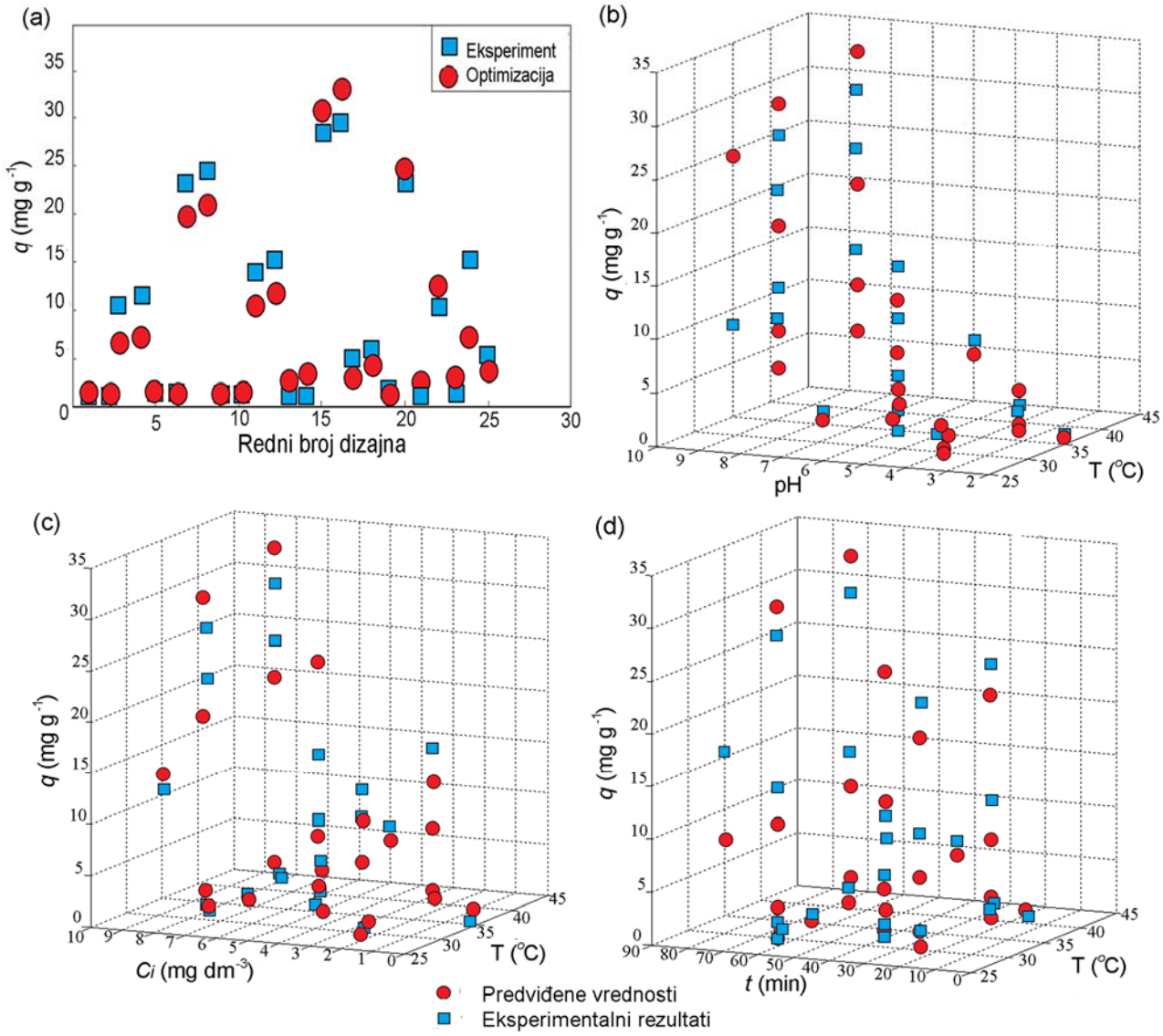
RSM poklapanje rezultata za kapacitet adsorpcije adsorbenta za Pb(II) jone ANOVA testom dat je u tabeli 3.

Tabela 3: ANOVA test poklapanja rezultata dobijenih RSM modelom

q	Zbir kvadrata	Stepena slobode	Srednji kvadrat	Srednja vrednost	C.V.%
Model	47.71	4	11.93	1.43	31.10
Ostatak	3.97	20	0.20		
Ukupno	51.68	24			

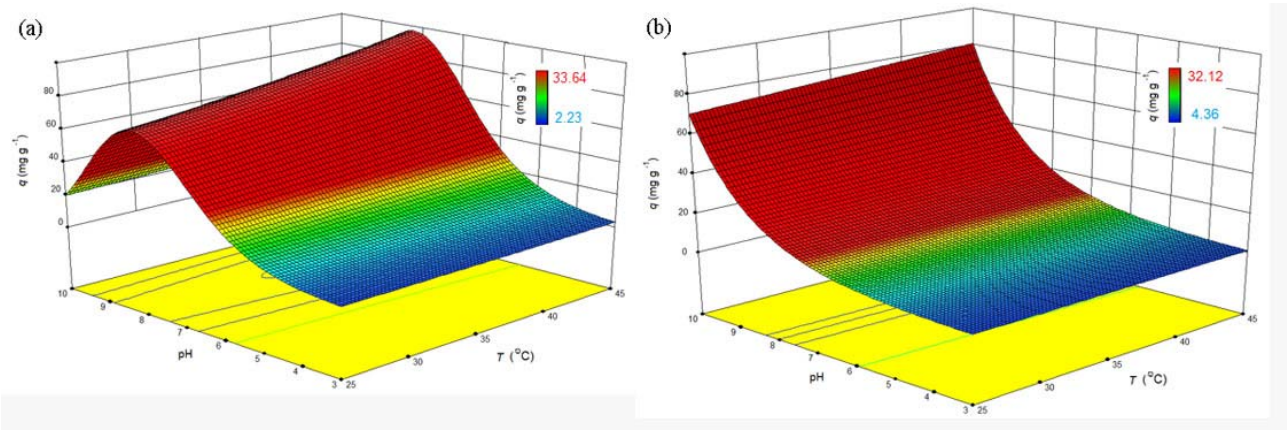
* C.V. – koeficijent varijacije

Analiza podataka je vršena pomoću dodatnih alata koji su uključeni u mikrosoftov eksel kojim su izračunate funkcije grešaka za dostupne podatke [Bajic et al. 2013]. Vrednosti grešaka za adsorpciju Pb(II) jona su: hibridna funkcija greške (HIBRID) - 68,88; Markardov procenat standardne devijacije (MPSD) – 50,24; prosečna relativna standardna greška (ARS) – 0,47; prosečna relativna greška (ARE) – 28,27; standardna greška – 2,647 i koeficijent determinacije (COD) - 0,9311. Ovim je pokazano da dizajn seta eksperimenata prikazan u tabeli 2 ima značajan uticaj na uspešnost poklapanja vrednosti rezultata. Korelacija između eksperimentalnih i podataka dobijenih pomoću RSM modela za adsorpciju jona Pb(II) iz vode dati su na slici 1.



Slika 1: Eksperimentalni i optimizovani podaci za adsorpciju Pb(II) jona iz vode (a), korelacija između eksperimentalnih podataka i dizajna u zavisnosti od promenljivih faktora, pH vrednosti (b), početne koncentracije (c) i vremena (d) u odnosu na temperaturu

Upoređivanjem podataka koji pokazuju eksperimentalne i predviđene rezultate (slika 2) dobijena je dobra korelacija za srednje vrednosti adsorpcionih varijabli. Veće odstupanje od predviđenih vrednosti adsorpcionih kapaciteta može se primetiti na kraju izabranog opsega nezavisnih varijabli (kodirane vrednosti) usled male participacije krajnjih tački u planu dizajna.



Slika 2: Komparativni prikaz adsorpcionog kapaciteta u odnosu na vrednosti pH i temperature za: površinski model eksperimentalnih podataka (a) i površinski model predviđenih podataka (b)

Iz napred navedenog može se zaključiti da se predviđanje rezultata adsorpcije može primeniti u srednjem opsegu variranih vrednosti, dok se na krajnjim tačkama generišu veće greške. Prema tome, jedna alternativa se odnosi na rešavanje ove nedoslednosti poželjnim korišćenjem smanjenih opsega varijabilnih vrednosti za multikriterijsku analizu procesa adsorpcije. S druge strane, dobra sigurnost predviđenih rezultata mogla bi se postići uključivanjem više podataka u eksperimentalnom planu u oblasti od interesa. Štaviše, dobijeni rezultati (slika 3) su dali dobru prognozu u opsegu promenljivih vrednosti koje su najvećeg interesovanja za istraživanje jer se poklapaju sa uslovima koji se obično nalaze u prirodnoj vodi, tj. pH vrednost i temperatura.

4. ZAKLJUČAK

Modifikacijom otpadnih vlakana PAN može se dobiti materijal primenljiv u zaštiti životne sredine za adsorpciju teških metala iz vode. Površinska modifikacija je dobro poznata metoda za poboljšanje sposobnosti adsorpcije različitih vrsta materijala poput vlakana prema metalnim jonima. Uvođenje amino grupe na adsorbent je posebno pogodno jer značajno poboljšava sklonost adsorbenata ka jonima teških metala u vodenim rastvorima. Rezultati istraživanja su pokazali da adsorpcioni kapacitet za jone teških metala više zavise od površinskih grupa, pH vrednosti i temperature nego od fizičkih karakteristika adsorbenta.

Aplikativni softver Dizajn Ekspert 9, sa odgovarajućim eksperimentalnim planom pokazao je da se metoda odzivnih površina (RSM) može uspešno iskoristiti za predviđanje rezultata adsorpcije. Ovaj metod omogućava dobijanje zadovoljavajućih rezultata sa minimalnim brojem eksperimenata (plan od 25 eksperimenata umesto 180 eksperimenata) što dovodi do ozbiljnih finansijskih ušteda na ekonomskoj strani i minimiziranja reziduala koji se oslobađa u životnoj sredini.

LITERATURA

[1] Bajić, Z.J., Djokić V.R., Veličković, Z.S., Vuruna, M.M., Ristić, M.Đ., Issa, N.B., Marinković, A.D., (2013). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on removal of Cd(II), Pb(II) and As(V) from wastewater using Carp (*Cyprinus Carpio*) scales, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 8 (4), 1581 – 1590.

[2] Bajić, Z. J., Veličković, Z.S., Djokić, V.R., Perić-Grujić, A.A., Ersen, O., Uskoković, P.S., Marinković, A.D., (2016). Adsorption Study of Arsenic Removal by Novel Hybrid Copper Impregnated Tufa Adsorbents in a Batch System, Clean – Soil, Air, Water, 44, 1–12

[3] Budimirović, D., Veličković, Z.S., Bajić, Z., Milošević, D.L., Nikolić, J.B., Drmanić, S.Ž., Marinković1ć, A.D., (2017a). Removal of heavy metals from water using multistage functionalized multiwall carbon nanotubes, J. Serb. Chem. Soc., doi: 10.2298/JSC170422066B

[4] Budimirovic, D., Veličković, Z.S., Djokić, V. R., Milosavljević, M., Markovski, J., Lević, S., Marinković, A. D., (2017b). Efficient As(V) removal by -FeOOH and -FeOOH/-MnO2 embedded PEG-6-arm functionalized multiwall carbon nanotubes.Chem. Eng. Research and Design, 1197, 75-86;

[5] Bhran, A.A., Shoaib, A.M., Umana, B., (2016). Optimization of crude oil hydrotreating process as a function of operating conditions: Application of response surface methodology, Computers and Chemical Engineering 89, 158–165.

[6] Budimirovic, D., Veličković, S.Z., Djokić, R.V., Milosavljević, M., Markovski, J., Lević, S., Marinković, D.A., (2017). Efficient As(V) removal by -FeOOH and -FeOOH/-MnO2 embedded PEG-6-arm functionalized multiwall carbon nanotubes. Chem. Eng. Res. Des. http://dx.doi.org/ 10.1016/ j.cherd.2017.01.010.

[7] Jafari, S.A., Cheraghi, S., Mirbakhsh, M., Mirza, R., Maryamabadi, A., (2015). Employing Response Surface Methodology for Optimization of Mercury Bioremediation by Vibrio Para-Haemolyticus PG02 in Coastal Sediments of Bushehr, Iran, Clean_Soil Air Water,43 (1), 118–126.

[8] Taleb, K., Markovski, J., Veličković, Z., Rusmirović, J., Rančić, M., Pavlović, V., Marinković, A., (2016). Arsenic removal by magnetite-loaded aminomodified nano/microcellulose adsorbents: Effect of

[9] functionalization and media size, Arabian Journal of Chemistry, dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.08.006.

[10] Liu, T., First, E.L., Hasan, M.M.F., Floudas, C.A., (2016). A multi-scale approach for the discovery of zeolites for hydrogensulfide removal, Computers and Chemical Engineering 91 (2016) 206–218.

[11] Xiyili, H., Cetinatas, S. and Bingol D., (2017). Removal of some heavy metals onto mechanically activated fly ash: Modeling approach for optimization, isoterms, kinetics and thermodynamics, Proces Safety and Enviromental Protection, 109, 288-300.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

УПРАВЉАЊЕ ЕКОЛОШКИМ РИЗИКОМ ОД ШУМСКИХ ПОЖАРА – СТУДИЈА СЛУЧАЈА: ДЕЛИБЛАТСКА ПЕШЧАРА

FOREST FIRES ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT – A CASE STUDY: DELIBLATO SANDS

ДЕЈАН ЦЕРОВИНА[1]

[1]Факултет Организационих Наука, deancerovina@gmail.com

Резиме: *У овом раду се говори о шумским пожарима, као акцидентима који са собом носе потенцијал великих еколошких ризика, са освртом на студију случаја Специјалног Резервата Природе, Делиблатска пешчара. Изазов код анализе оваквог ризика, се огледа у његовој комплексности, везано и за услове настанка, развоја али нарочито са аспекта еколошких последица које носи са собом. Видећемо које су то технике као и средства која се користе код нас, али и које су тенденције у светским оквирима, када је у питању управљање ризиком, од шумских пожара. Студија случаја ће се фокусирати на развоју специфичног модела сценарија базираног на техници Анализа Стабла Догађаја, а резултат ће нам потврдити ефикасност предложеног модела при оперативним планирањима и доношењу одлука.*

Кључне речи: *Еколошки ризик, шумски пожар,анализа, управљање.*

Abstract: *This paper is about forest fires, and accidents which carry large potential environmental risks, focusing on a case study of Special Nature Reserve Deliblato Sands. The challenge in the analysis of such risk, is reflected in its complexity, and with regard to the conditions for initiation, development or especially from the aspect of environmental consequences that entails. We will see what are the techniques and resources used in our country, but also the tendencies on a world scale, when it comes to managing the risk of forest fires. A case study will focus on the development of a specific scenarios model, based on the technique of event tree analysis, and the result will confirm the effectiveness of our proposed model for operational planning and decision-making.*

Keywordс: *Environmental risk, forest fire, analysis, management.*

1. УВОД

Шумски пожари играју кључну улогу у трансформацији пејсажа, сукцесији вегетације, деградацији земљишта и квалитету ваздуха [1]. Годишње се у свету региструје преко 50.000 шумских пожара, који у просеку униште 400.000ha шума. Узроци шумских пожара у 95% случајева су антропогени, било да је у питању немар, несрећни случајеви, или чак намерно паљење као што је крчење земљишта ради формирања пашњака , или да би се добила дозвола за чисту сечу и на тај начин обезбедило пољопривредно земљиште [2].

Шумски пожари, па и пожари уопште, настају ако су испуњена три услова: присуство горива, довољно кисеоника и адекватна температура.

Климатске промене имају утицај на промену режима падавина чиме се мења образац суша у будућности и ствара ризик од пожара. Процена ризика је алат за процену утицаја вероватноће од катастрофа какве су пожари [3].

Просторна анализа настанка пожара може да пружи нове информације које могу да олакшају процесе планирања и смање сам ризик од пожара [4] .

Једна од најчешће коришћених техника код нас је Систем рејтинга пожарне угрожености, заснован је на Канадском методу обрачуна Пожарног Временског Индекса (Fire Weather Index) FWI,

који представља количину произведене енергије по јединици дужине фронта пожара. Његова вредност представља степен угрожености од пожара око поднева [2]. Ово је типичан пример који показује корелацију између климатских прилика и ризика од пожара.

Техника коју предлаже Василакос са сарадницима, базира се Шеми ризика од избијања пожара која је сегмент Система за рангирање опасности од пожара (FDRS) који је развијен у оквиру истраживачког пројекта Европске Уније AUTO-HAZARD PRO, који има за циљ мапирање ризика од пожара у Грчкој. Резултат технике је Индекс Избијања Пожара (FII), који је резултат модела добијеног употребом вештачке интелигенције кроз неуронске мреже. Неуронске мреже представљају моћан алат који се стално може надограђивати новим подацима, па се на тај начин добија ажурирана верзија прогностике [5].

Још један модел израде мапе ризика везан за Медитаран даје нам Зохаз Цармел са сарадницима. Они користе симулациони модел FARSITE, дводимензионални модел развијен од стране Шумарске службе Сједињених Држава, уз примену Monte Carlo симулационе технике. Ово је јако успешан модел предвиђања ризика од пожара, који се да применити и на локацијама за које не постоје историјски подаци [6].

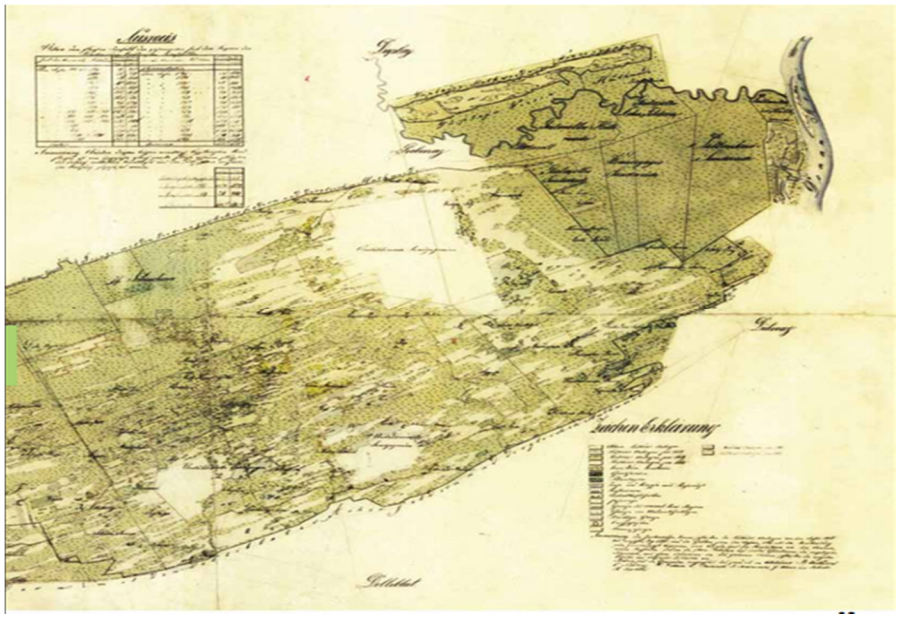
Информације о просторној дистрибуцији пожара неопходне су да би се побољшала стратегије превенције и тактике сузбијања пожара [7]. У условима када је дошло до развоја шумског пожара, правовременим деловањем уз одговарајућу оперативну припрему, могуће је смањити еколошки ризик који са собом носи један такав акцидент.

2. ФОРМУЛИСАЊЕ ПРОБЛЕМА

Циљ процене ризика

Делиблатска пешћара се налази у југоисточном делу Панонске низије, у области Банат. Простире се на 34.892 ha, а од 1977. године има статус Специјалног Резервата Природе, у оквиру којег је 2002. успостављен тростепенски систем заштите. Ово подручје је по много чему специфично и у извесном смислу јединствено у Европи. [8]

Први картографски приказ пешчаре, направљен је у период 1723-1725 и приказује ово подручје као равницу без површина са живим песком. Доминантно деструктивним процесима (пожари, крчење шума, испаша стоке), дегредарина је до скоро потпуног уништења шумска и травна вегетација, чиме је на великим пространствима откривен невезани песак. Већ 1810. шумарски стручњак Фрањо Бацхофен, на основу премера које је спровео, установио је површину Делиблатске пешчаре од 40.662 ha, са чак 16.801 ha покретног песка [9].



Слика бр. 1: Скица плана пошумљавања из 1860. године [10]

Обзиром да је опстанак људи био угрожен, приступило се мерама санације пешчаре, које су подразумевале трајно везивање покретног песка травном и шумском вегетацијом. Радови су започели 1818. године и уз огроман напор, финансијска средства и силне проблеме који су се огледали у покретним пешчаним масама, јаким ударима кошаве као и пожарима простор је ревитализован 1912. године.

Цео процес везивања песка био је пропраћен различитим опредељењима у погледу врста коју су коришћене. Сам избор врста је био одређен могућностима станишта, историјским околностима, актуелним стручним мишљењима као и претходним искуствима у Европи на сличним стаништима. Топола, бреза и багрем су биле доминантно заступљене врсте, а бор је био слабије заступљен. Након испуњавања основног циља 1912. године, када је заустављено ширење пешчаре, пре свега формирањем вегетације на рубним подручјима, што је омогућило заштиту ораница, насеља и друге инфраструктуре, долази до промена у погледу форсираних врста које ће се садити. Акценат се ставља на багрем и борове, да би у другој половини двадесетог века, доминацију преузео бор. Ово је учињено упркос, испоставило се исправним, сугестијама из првог периода пошумљавања, које су се односиле на подсејавање храстом, као и форсирање аутохтоних лишћара (храст и липа) [11].

У периоду 1948-2012, забележено је 265 пожара, укупна површина пожаришта је 11.941,80 ha (183,72 ha годишње изгори). Од тога, 6.137,23 ha је под шумским покривачем спаљено, са учешћем од 89% приземних пожара и 29 случаја високих пожара. У 63% случајева истраге су утврдиле узрочника у људском фактору, у 27% случајева узрок није откривен. Од овог броја пожара који су се десили, 4 имају одлике еколошких катастрофа са укупном површином пожаришта од 6.250,48 ha. На основу спроведених интервјуа са учесницима у процесима гашења, закључено је да је у сва 4 случаја било висе од једног жаришта, и да је ветар често мењао правце кретања. Ово је условило неопходност подизања нових против-пожарних баријера као и паљење конта пожара, где је то структура врста дозвољавала. Проблеми на које су наилазили су следећи:

- противпожарне препреке нису успевале да зауставе фронт, па чак ни да га успоре обзиром да њихова ширина није била довољна, због опасности од развејавања пешчаног супстрата
- шумске комуникације су биле непроходне за пролаз возила, великим делом због пешчане структуре
- опреме за гашење пожара није било довољно [12]

Комплексност шумских пожара је велика, али, постојање предиспозиција, какве има Пешчара, које се огледају у немогућности примена универзалних принципа и стратегија у управљању пожаром, чини је посебним и аутентичним проблемом, који захтева јединствен приступ и оригинална решења, у свим фазама управљања.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

За овај рад одабрали смо технику Анализе Стабла Догађаја (ETA). Еволуција сваког иницијалног догађаја представљена техником Анализе Стабла Догађаја омогућује нам утврђивање коначног резултата сценарија, као и учесталост појаве самих иницијалних догађаја [13].

Техника која нам даје добар алат за идентификацију и евалуацију низа догађаја који, покренути почетним догађајем, представљају потенцијални сценарио акцидента, какав је у овом случају шумски пожар на локацији резервата Делиблатска пешчара.

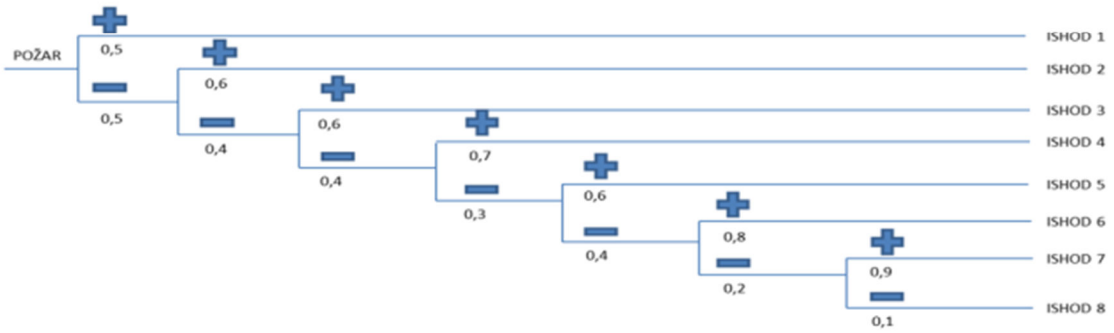
Овакав преглед потенцијалних догађаја који су резултат иницијалног акцидента, а који у ствари представљају одбрамбене механизме, даје нам увид које су критичне тачке у систему, и колики би био допринос умањењу штете уколико би се отклонили сви недостаци у њима. Представљена су два примера, први који је у складу са редовном праксом и други који примењује светска искуства. Разлика је у томе што се најчешће свесно жртвују шуме пуштањем пожара да дођу до противпожарних препрека, па тек ако то не да жељене резултате, ангажује авијација. Последице овог погрешног приступа су несагледиве економске и еколошке штете.

Пример 1 (ETA)

Делиблатску пешчару одликује присуство великог броја рекреативаца, а положај, надморска висина, орографија терена, ружа ветрова, као и учешће врста у биљним заједницама, комбинација су фактора која погодује појави пожара. Рекли смо да је код нас у 95% случајева човек главни узрочник пожара, и да је у суштини једина права превентивна мера едукација. Процес подизања свести је изузетно дугачак.

Реалност је таква, да овај механизам не функционише, бар не у потпуности, по чему ми нисмо светски изузетак, зато смо принуђени на компромисе који подразумевају категоризацију исхода на: повољне, прихватљиве и неповољне. У овом конкретном случају, прихватљив исход дефинише степен угрожености екосистема као и могућност да се применом редовних газдинских мера успостави првобитно стање (санитарна сеча, подсађивање).

Šumski požar	Pivot događaji							Krajnji ishodi
	Video-nadzor pravovremeno locirao plamen	Protivpožarno vozilo stiglo na lokaciju	Vatrogasne ekipe stigle na lokaciju	Protivpožarne prepreke	Improvizovane protivpožarne prepreke	Neophodna upotreba avijacije	Kontrola bokova plamena, dok požarni front ne ostane bez goriva	



Дијаграм бр.1: Анализа стабла догађаја 1

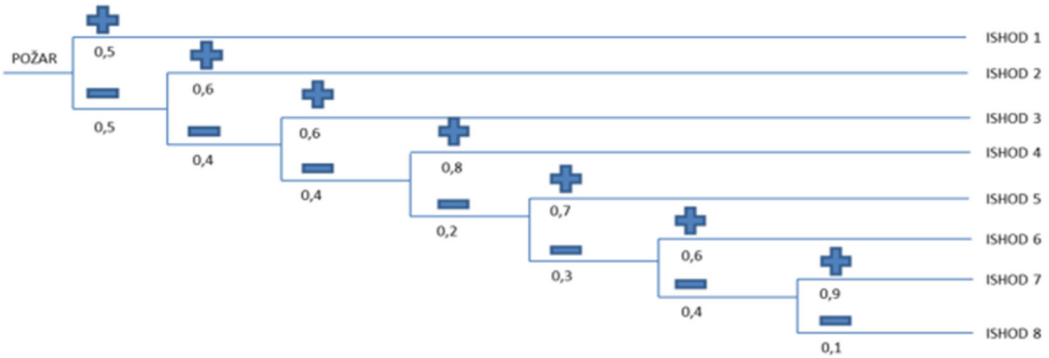
Ако узмемо у обзир да се годишње, у просеку, региструју 4 пожара на локалитету, и да се бележе у пожарним месецима Јуну, Јулу и Августу, као минималну вероватноћу појаве пожара морамо узети бар 0,05. Са таквим параметром, квантитативна анализа би могла да изгледа овако:

- Вероватноћа Исхода 1 (0,05*0,50= 0,025) - повољан
- Вероватноћа Исхода 2 (0,05*0,50*0,60= 0,015) - прихватљив
- Вероватноћа Исхода 3 (0,05*0,50*0,40*0,60= 0,006)- прихватљив
- Вероватноћа Исхода 4 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,70= 0,0028) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 5 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,30*0,60= 0,00072) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 6 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,30*0,40*0,80= 0,000384) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 7 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,30*0,40*0,20*0,90= 0,0000864) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 8 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,30*0,40*0,20*0,10= 0,0000096) – неповољан

На основу оваквог следа догађаја, вероватноћа повољног исхода је 0,025, прихватљивог 0,021 и неповољног 0,0040.

Пример 2 (ETA)

Šumski požar	Pivot događaji							Krajnji ishodi
	Video-nadzor pravovremeno locirao plamen	Protivpožarno vozilo stiglo na lokaciju	Vatrogasne ekipe stigle na lokaciju	Neophodna upotreba avijacije	Protiv-požarne prepreke	Improvizovane protivpožarne prepreke	Kontrola bokova plamena, dok požarni front ne ostane bez goriva	



Дијаграм бр.2: Анализа стабла догађаја 2

Са претходно усвојеном вероватноћом од 0,05 добијамо следећу квантитативну анализу:

- Вероватноћа Исхода 1 (0,05*0,50= 0,025) - повољан
- Вероватноћа Исхода 2 (0,05*0,50*0,60= 0,015) - прихватљив
- Вероватноћа Исхода 3 (0,05*0,50*0,40*0,60= 0,006) - прихватљив
- Вероватноћа Исхода 4 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,80= 0,0032) - прихватљив
- Вероватноћа Исхода 5 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,20*0,70= 0,00056) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 6 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,20*0,30*0,60= 0,000144) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 7 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,20*0,30*040*0,90= 0,0000864) - неповољан
- Вероватноћа Исхода 8 (0,05*0,50*0,40*0,40*0,20*0,30*040*0,10= 0,0000096) - неповољан

Променом процедуре, која подразумева ранију употребу авијације, добија се следећа структура вероватноће исхода: повољан 0,025, вероватноћа прихватљивог чак 0,0242 док је вероватноћа неповољног исхода драстично смањена на 0,00080.

4. РЕЗУЛТАТ

Ова Анализа Стабла Догађаја, показује нам колико су важни оперативни планови, колико је важна процедура којом се руководимо. Једна измена у редоследу активности којима одговарамо на опасност, смањујемо вероватноћу неповољног исхода за чак 5 пута. Колики год да су трошкови употребе авијације, не смемо изгубити из вида које су користи, колико је мање материјалне и посебно еколошке штете.

Анализа нам у свим својим аспектима указује и на кључну улогу саме организације противпожарне службе, као и активности везаних за одржавање шумског реда (проходности комуникација, одржавање противпожарних препрека-просека).

5. ЗАКЉУЧАК

Климатске промене нису нешто што ће се десити у будућности, то је нешто што се управо дешава. У прилог те тезе су и подаци који говоре да су током периода 1960-2012, на територији Србије забележени значајани порасти средње дневне тепературе. Просек пораста температуре износио је приближно 0.3 °Ц по декади, а то је више од глобалног просека за овај период [14]. Тиме је јасно да се данас ризик од шумских пожара повећава, обзиром да се испуњава главни предуслов за његово избијање, а то је довољна сувоћа горива.

У таквим околностима, неопходно је додатно ангажовање на развоју техника процене ризика, које имају за циљ адекватан мониторинг, као и израду квалитетнијих оперативних планова.

На основу светских искустава, закључује се да је за постизање таквог циља најделотворнија техника мапирања ризика, која омогућује бољи мониторинг, јер је време од круцијалног значаја, да би се спречиле веће еколошке последице. Такође, доприносе изради квалитетнијих оперативних планова. Постоји још једно системско решење, које се снажно сугерише, а које се односи на увођење институције против-пожарног менаџера, односно менаџера за управљање пожарима [15]. Специјализација у комбинацији са искуством, је непроцењива у околностима хитног реаговања и доношења крупних одлука у кратком временском периоду, што су све особине борбе са шумским пожарима.

ЛИТЕРАТУРА

1 Chuviecoa E, Aguadoa I, Yebraa M, Nietoa H, Salas J, Martin MP, Vilar L, Martínez J, Martín S, Ibarra P, et al. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. Ecological Modelling. 2009 xxx-xxx.

2 Aleksić P, Krstić M, Jančić G. Forest fires - ecological and economic problem in Serbia. Botanica SERBICA. 2009 Decembar 8:169-176.

3 Brooks H. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper. 2003 1-16.

4 Yang J, Healy HS, Shifley SR, Gustafson EJ. Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. Forest Science. 2007 1-15.

5 Vasilakos C, Kalabokidis K, Hatzopoulos J, Kallos G, Matsinos Y. Integrating new methods and tools in fire danger rating. International Journal of Wildland Fire. 2007 306-316.

6 Carmel Y, Paz S, Jahashan F, Shoshany M. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. Forest Ecology and Management - Elsevier. 2009 370-377.

7 Tian X, Zhao F, Shu L, Wang M. Distribution characteristics and the influence factors of forest fires in China. Forest Ecology and Management. 2013 460-467.

8 Deliblatosands S. Location, origin and geomorphology. [Internet]. [cited 2017 April 20]. Available from: http://www.deliblatskapescara.rs/en/.

9 Berzeković A. Pošumljavanje Deliblatskog peska.Saopćenja - Aktualna pitanja u pogledu budućeg pošumljavanja Deliblatskog pijeska. Šumarski list br. 9. 1937:518-543.

10 Grujičić I, Velojić M, Seratlić B. Riznica pod otvorenim nebom, Specijalni rezervat Deliblatska peščara. In: NATREG; 2013; Jagodina.

11 Bobinac M. Značaj šumsko-uzgojnih mera u zaštiti šuma od požara u Deliblatskoj peščari. Vatrogatstvo i upravljanje požarima. 2015:32-56.

12 Milenković M, Radovanović M, Ducić V, Milošević M. Problemi protivpožarne zaštite sa velikim šumskim požarima u Deliblatskoj peščari. Žurnal Geografskog Instituta Jovan Cvijić u Beogradu. 2013 269-278.

13 Alileche N, Olivier D, Lionel E, Valerio C. Analysis of domino effect in the process industry using the event tree method. Safety Science. 2016 xxx-xxx.

14 Đurđević V. Srbija i klimatske promene. Beograd: Vlada Republike Srbije; 2015.

15 Weibin Y, Li L, Zhirong J, Jian'an Y, Jianqin Z, Yunjian F, Dongjin H. Geographical information system-based forest fire risk assessment integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability. Ecological Indicators. 2017 176-184.

16 Jurjević P, Vuletić D, Gračanin J, Seletković G. Šumski požari u Republici Hrvatskoj. Šumarski list. 2009:63-72.

17 Calkin D, Thompson M, Finney M, Hyde K. A Real-Time Risk Assessment Tool Supporting Wildland Fire Decisionmaking. Journal of Forestry. 2011 274-280.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

CHARGE REVENUE MANAGEMENT IN ENVIRONEMENTAL PROTECTION SECTOR

DUŠAN VASILJEVIĆ[1], MAJDA SEDEJ[2]

[1] USAID Projekat za bolje uslove poslovanja, dvasiljevic@bep.rs
[2] USAID Projekat za bolje uslove poslovanja, msedej@bep.rs

Abstract: *This article explores how managing the system of environmental protection charges can be streamlined to improve the attainment of fiscal goals and environmental policies while at the same time improving the business environment. We begin by examining the principles that underlie "green" charges and mechanisms in place to ensure that charge revenue is spent in line with its intended purpose. We then focus on the special waste streams (SWS) charge, and analyze rate setting, revenue collection, and the outcomes achieved in relation to the rationale for the charge. We end by providing recommendations to improve the management of SWS charge that can also be applied to the management of other environmental protection dues.*

Keywords: *charges, waste, environment protection sector.*

1. INTRODUCTION

Non-tax revenues in EU countries made as much as 12% of total revenue in 2014, which amounts to more than 5% of GDP (Mourre and Reut, 2017). However, non-tax revenues are not even nearly as researched as their fiscal importance would suggest. One of rare attempts to assess the impact of the non-tax revenues that goes beyond just fiscal implications has found that non-tax revenues have stabilizing properties and that this effect is observable in both democratic and dictatorial regimes (Morrison, 2010). More recent research tentatively suggests that although charges are justified on the basis of economic efficiency, in practice they are a strategy for raising revenue (Simić, 2016).

The purpose of this paper is to examine how to manage the non-tax revenues in the environment sector in Serbia to better reconcile sector specific policy goals (in our case: reduction of negative effects of the waste generated by certain type of products) with broader policy objectives: development of business environment conducive for economic growth, non-hampering of the purchasing power of consumers, and public finance needs (budget consolidation).

The reason for selecting the environment protection sector is twofold: 1) the sector is prone to revenue generation from charges; and 2) effective financing mechanisms are important for sector's development and Serbia's EU integration process. Serbia's key strategic documents in this area (The National Strategy of Republic of Serbia for Approximation in Environment Protection Sector, 2011) recognize that clear financing strategy is a prerequisite for tackling the challenges in the environment protection domain. Given the status of the environment protection infrastructure in Serbia and having in mind the situation of recent EU entrants, it is certain that the most expensive part of the acquis implementation would be in the environment protection sector.

We have chosen to focus in particular on the management of charge for products that after use become special waste streams (SWS), as it is one of the most important revenue sources among environmental charges.

2. SECTOR FINANCING PRINCIPLES

2.1. Background

The system of non-fiscal revenues in Serbia is in the state of prolonged flux. Changing government priorities continue to influence the ability of sectoral ministries to plan and implement their policies. Policy approaches, on the one hand, included allowing more revenue control to ministries and semi-independent public agencies to uphold their independence; this was meant to endow them with resources needed for their goals. However, years of almost unrestrained control over the introduction of non-tax revenues by line ministries or public enterprises

have led to the proliferation of fees and charges. As a reaction to that, we have also seen attempts to centralize management of non-fiscal revenues away from sector ministries in order to reduce the national government's deficit and to streamline regulations, procedures and taxing structures to improve the business environment.

The period of 2008–2010 was an important time for charges in Serbia, particularly for environmental charges. In 2010, central government revenues from charges rose by two times compared to just two years earlier, mostly because of the government strategy not to increase taxes in the wake of the global financial crises, and the absence of policies regulating charges. New environmental charges and reduction of the share of local governments in the revenues from existing ones from 60% to 40% contribute to the significant rise in central government revenues from charges: in 2008 environmental charges contributed only 0.2% of central government budget revenues, whereas in two years it rose by 250% (Bisić, 2011).

2.2. Financial instruments

The Environmental Protection Law (Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 135/2004, 36/2009, 36/2009) establishes two key principles of financing by means of non-tax mechanisms: 1) "polluter pays", whereby the polluter is required to pay an environmental pollution fee when its activities have caused or may cause damage to the environment; and 2) "user pays", according to which anyone who uses natural resources is required to pay a reasonable price in return for their use and land re-cultivation.

These principles were taken as the starting point for defining the following financial instruments: natural resource use charges; environmental pollution charges; and environmental protection and improvement charge. Revenues from environmental pollution (including SWS charge) and environmental protection and improvement charges are earmarked for implementation of environmental protection programs (by the provisions of the Environmental Protection Law (Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 135/2004, 36/2009, 36/2009) and Waste Management Law (Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 36/2009 and 88/2010)).

The earmarking of green taxes and charges revenue is viewed as an important mechanism for financing the environmental infrastructure in many countries. Earmarked "environmental funds" have been used extensively in transition economies to address broad environmental goals. For example, most Central and Eastern European countries have, to a certain extent, utilized this financing mechanism in the transition period: Poland financed 33% of total environmental expenditures from the Environmental Fund, while in Hungary, Slovenia, and Lithuania earmarked revenues accounted for 20% of the expenditures (Generating Public Sector Resources To Finance Sustainable Development, The World Bank, 2002).

However, 2012 Budget System Law (Official Gazette of the Republic of Serbia No. 54/2009, 73/2010, 101/2010, 101/2011, 93/2012, 62/2013, 63/2013, 108/2013, 142/2014, 68/2015) amendments brought all budget beneficiaries' own-source revenues (including from earmarked fees and charges) into the general revenues of the budget so as to ensure more efficient financial planning and control of budget beneficiaries. Those amendments created collision with sector laws that stipulate that revenue from earmarked fees and charges is to be utilized for specific purpose (such as implementation of environmental protection programs). Since 2012, the projected revenues from earmarked fees and charges under the authority of a budget beneficiary are considered during budgetary discussions between the Ministry of finance and the budget beneficiary, but as a rule, do not have a direct impact on the amount of funds allocated in the budget for special purposes defined by the sector laws (earmarked revenues-funded expenditures). Funds allocated in the budget for environmental development projects (i.e. earmarked environmental charge- funded expenditures) from 2013 to 2015 made up approximately between 47% and 65% of earmarked charge revenues that were collected in those years (Table 1).

Table 1: Share of Earmarked revenues-funded expenditures in Revenues from environmental charges

	Budget 2014	Budget 2015	Budget 2016
1) Earmarked revenues-funded expenditures			
Infrastructure projects	265,873,000	506,000,000	343,600,000
Settlement of liabilities of the EPF	1,251,875,000	835,305,000	262,700,000
Subsidies for waste recycling industry	1,600,000,000	1,900,000,000	2,100,000,000
7012 – IPA 2010 MISP project	139,000,000	347,500,000	173,750,000
IPA 2013 Environment and climate change project	175,634,000	33,951,000	472,320,000
IPA 2012 Strengthening the system of Environmental protection	273,715,000		27,827,000
TOTAL:	3,432,382,000	3,622,756,000	3,290,197,000
	2013	2014	2015
2) Earmarked revenues from environmental charges	5,285,985,589	7,728,231,120	6,127,146,301
Share of expenditures (1) in revenues (2)	65%	47%	54%

Sources: Ministry of Finance, Treasury Administration; authors' own calculations based on the Law on Budget for 2015, 2016, 2017

The lower amount of funds allocated for earmarked revenues-funded expenditures has been reported to be partly the consequence of budget under-execution in recent years, due to insufficient capacity for management of infrastructural environmental protection projects, and infrastructure projects in particular.

3. SPECIAL WASTE STREAMS (SWS) CHARGE

3.1. Legal background

The Waste Management Law (Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 36/2009 and 88/2010) governs special waste streams, which constitute flows of waste (expended batteries and accumulators, waste oils, waste tyres, electrical and electronic equipment waste, end-of-life vehicles, and other waste) from its source, through collection, transportation, and treatment, to its final disposal. The Law mandates payment of charges by producers or importers of products to be disposed of as SWSs after use, and earmarks of collected revenues for investment and operating costs of managing SWSs. The subjects of the charge are mandated to keep daily records and report annually on the quantity and type of products produced and imported to the Serbian Environmental Protection Agency (EPA).

Based on information provided by the EPA, the Ministry of Agriculture and Environment Protection assesses the amount of the charge payable by each producer/importer. According to the Decree, the amount of the charge for a particular category of products is determined with reference to the cost of managing waste generated by that category of product. The charge is payable quarterly and is assessed based on: 1) products' weight (for vehicles); 2) VAT base (for information technology (IT) equipment); or 3) the quantity of products produced or imported (for all other SWS products).

3.2. Rate setting process

Rate setting process related to SWS charge and other environmental charges follows the patterns that are common for rate setting in all other sectors, at the central government level. The Law on Local Government Finances (Official Gazette of the Republic of Serbia. No. 62/06) stipulates mandatory public hearings when setting rates of local government revenues. However, there is no such requirement – nor a practice – at the central government level. In the absence of institutionalized dialogue between the rate setting authorities and payers, their interaction can take the form that appears as lobbying or another improper practice. Moreover, without formalized and meaningful dialogue between the stakeholders, there is no mechanism to correct even

obvious flaws in the system of charges, which in time may become increasingly unjust and counterproductive from an economic point of view. In such circumstances, a backlash by payers may be just a matter of time. One can argue that because of lack of proper dialogue on charges, in previous five years we had more charges eliminated that reformed. The life cycle of a charge often consists of introduction-deformation-elimination.

3.3. SWS charge: collection rate

The EPA's 2014 SWS Report (Serbian Environmental Protection Agency, 2015) reveals an annual increase in the number of businesses complying with their statutory reporting requirements with the EPA, but also that a large number of firms still have not been filing their reports (Table 2). The low collection rate has led to problems with unfair competition in the market, as the charge has a direct impact on the product price.

Table 2: Producers/importers required to file annual reports with the EPA

2013		2014		2015	
Filed	Did not file	Filed	Did not file	Filed	Did not file
4,649	2,831	6,399	2,690	N/A	N/A

Source: Serbian Environmental Protection Agency

3.4. What is the fair level of SWS charge?

The introduction of the SWS charge is in line with the concept of extended producer responsibility for environmentally sensitive products. In a broader sense, this charge, just as other environmental charges, is considered a charge for the use of public goods, as reflected in the plan to include all environmental charges in the future Law on Charges for the Use of Public Goods. However, it is arguable whether this is its real economic nature.

The SWS charge, together with most other financial environmental instruments, has the elements of a Pigovian tax, being levied on market activities that generate negative externalities on the environment (future pollution, following the end of a product usage cycle). The quasi-tax nature of environmental charges is particularly true for charges for emissions of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, powder materials and ozone depleting substances – that is for the type of pollution for which no direct remedial actions are undertaken by the public sector. Other environmental financial instruments have more elements of a charge, as the case is with the SWS charge, since the government is supposed to fund remediation actions – to collect the waste resulting from end of usage of SWS products and to recycle or dispose them in an appropriate way

For the tax nature of charges to be less prominent, there is another requirement, besides certain service being provided by the public sector to payers: the amounts payable should commensurate with the costs of providing the service. The methods of calculating environmental charges comply, to a certain extent, with the proportionality principle. The SWS charge is calculated based either on the number of products or similar criteria (weight, volume), which are directly correlated with the costs of disposing such products.

However, there are some notable deviations from this principle. For example, the SWS charge for IT equipment is calculated on the basis of the VAT base. In this regard, the SWS charge has the elements of para-fiscal imposition, as the VAT basis cannot be an approximation of the costs of remedying future waste stemming from current products. Even the rates are not consistently defined: for IT equipment (e.g. personal computers) the rate is 5% of the VAT base, while for mobile phones the rate is 1% of the VAT base. Similarly, the rate for photo cameras is 36 dinars/kg, while for watches it is double that. The only explanation for such policy is that the "ability to pay" principle was at work.

However, determining the true cost of disposing the SWS waste is not straightforward. Besides the operating costs incurred in collecting and treating particular categories of SWS waste (the short-term aspect), one should take into account, to a certain extent, the investment costs of managing SWS (the long-term aspect).

The basic relationship that should apply in terms of efficiency of SWS charge is as follows: amount of charge per unit of SWS waste > operating cost of collecting and recycling a unit of SWS waste. In addition, as the collections and recycling of SWS is supported through recycling subside of the government, the following

should also hold: operating cost of collecting and recycling a unit of SWS waste > amount of recycling subsidy per unit of SWS waste.

3.5. Perspective from industry

Some industry representatives see the SWS charges as a significant imposition that can make up to 12% of the final price of the product. The electronic and electric industry claims that the rates in Serbia are 2.5 to 3 times higher than in the EU. The result still seems to be unsatisfactory – the waste collection rate is more than three times below the EU level, if data provided by the industry representatives is accurate. In addition, one of the major producers of electric home appliances has estimated that only 25% of the intended payers actually pay the charge and that almost 20 million EUR of revenues annually end up uncollected.

The industry has sought the right to form a Collective Operator that would be responsible for managing waste produced by that industry, allowing businesses to choose whether to pay the charge to the government or to the Collective Operator. In the practice of other countries, there is another model that a payer of the charge can opt for – a single payer acts as an individual operator and assumes responsibility to collect and manage certain volumes of the waste. Such model is claimed to be more efficient. This innovation would also reduce the problem with the subsides to recycling businesses - which are perceived to be too high and granted in a non-transparent manner, discouraging investments in recycling capacities.

4. CONCLUSION

4.1. Conclusions and recommendations for improvements of the system

Non-tax revenues pose a specific management challenge for national governments. The fiscal risk they impose on the public finance system is proportionally greater than the risk stemming from the volatility of the tax revenues as it accounts for one-third of the volatility of government revenue in the EU. On the other hand, in one third of EU Member States, non-tax revenues actually have a stabilizing role in the public finance system, as they tend to increase when other revenue sources decline, and vice versa (Mourre and Reut, 2017).

One of key theoretical insights about non-tax revenues is that their key economic rationale is not to produce revenues, but to promote economic efficiency, It is clear that the SWS system is not fully meeting its stated goals. The share of waste that is being collected and recycled or otherwise appropriately disposed of consistently falls short of EU standards. Therefore, the most important comment regarding the SWS financing system is not related with the charge itself, but rather with the outcome it produces.

Determining a fair level of SWS charge should be based on more sophisticated modeling, to establish a robust relationship between the amounts payable and the cost of disposing the SWS waste. Further research in this area is needed to derive concrete recommendations on charge rate which is based on economic principles.

The policy makers should explore the alternative mechanisms, such as those suggested by the industry and model the cost-efficiency and effectiveness of such solutions (from perspective of the businesses and environment protection). Again, further research and calculations are needed to assess the value of introduction of suggested new mechanisms.

The creation an up-to-date register of importers and producers of relevant products would be beneficial not only for revenue raising purposes, but also for leveling the playing field by eliminating the unfair advantage that unregistered businesses have over their law-abiding competitors. To be effective, the register of producers and importers would need to be supported by improvements to other elements of the collection mechanisms, such as introduction of IT systems and assigning more staff for the collection function.

Once collected, the revenues should be prudently spent in order to achieve sectoral strategic goals. That requires informed negotiations between the line ministry and the Ministry of Finance, including on the earmarked revenue and sectoral development priorities.

Improved transparency is essential to the success of any reform. A sound and sustainable reform of the SWS charge, and probably of other environmental charges, should include regular annual public hearings to discuss the results achieved with the use of different economic instruments. The subject of those reviews should also include financial effects on businesses as well as on consumers.

The recommendations outlined above are, to a large extend, applicable for improving the management of other charges in environment protection sector. In general, it can be concluded that there are significant opportunities for optimization in management of the revenue system based on application of analytical methods and modeling, and utilization available data to determine the optimal level of charges and mechanisms for achieving the sectoral goals in environment protection, while also improving environment for businesses, and not hampering the purchasing power of consumers and fiscal consolidation. Further research in this area can provide useful information for improved decision-making of public sector administrators.

Acknowledgement

This paper is a result of the research conducated for the Center of Excellence in Finance as a part of the *Revenue Mobilization and Management in Sectors* Project, supported by GIZ. Earlier version has been published in Simić, 2016.

REFERENCES

[1] Bisić, M. (2011). Sistem naknada za korišćenje prirodnih bogatstava i raspodela prihoda između centralnog i lokalnih nivoa vlasti, SKGO, Beograd.

[2] Bird, R. (2001). The Challenge of Urban Government, in User Charges in Local Government Finance, Freire, M., Richard, S. (ed.). World Bank Institute.

[3] Generating Public Sector Resources to Finance Sustainable Development (2002). The World Bank.

[4] Morrison, K. (2010). Oil, Nontax Revenue, and the Redistributional Foundations of Regime Stability. International Organization 63, Winter 2009.

[5] Mourre, G., Reut, A. (2017). Non-Tax Revenue in the European Union: A Source of Fiscal Risk? European Commission, Directorate-General for Economic and Financial Affairs.

[6] Official Gazette of the Republic of Serbia No. 135/2004, 36/2009, 36/2009 – Other Law, 72/2009 – Other Law, and 43/2011 – Constitutional Court Ruling. Zakon o zaštiti životne sredine (Environmental Protection Law).

[7] Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 36/2009 and 88/2010. Zakon o upravljanju otpadom (Waste Management Law).

[8] Official Gazette of the Republic of Serbia No. 54/2009, 73/2010, 101/2010, 101/2011, 93/2012, 62/2013, 63/2013, 108/2013, 142/2014, 68/2015 – other law and 103/2015. Budget System Law.

[9] Serbian Environmental Protection Agency (2015). Proizvodi koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada u Republici Srbiji u 2014. godini (Products disposed of into special waste streams in the Republic of Serbia in 2014).

[10] Simić, T. (ed.). (2016). Revenue Mobilization and Management in Sectors – Background and Case Studies on user fees and charges in selected sectors. Center of Excellence in Finance, Ljubljana.

[11] The Law on Local Government Finances (Official Gazette of the Republic of Serbia. No. 62/06).

[12] The National Strategy of Republic of Serbia for Approximation in Environment Protection Sector, December 2011.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PREGLED PRIMENE METODA PROCENE EKOLOŠKOG RIZIKA

OVERVIEW OF THE ENVIRONMENTAL RISK METHODS

MARKO ĆIROVIĆ[1],

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marko.cirovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Predmet rada je pregled i evaluacija primene postojećih metoda za procenu rizika u okviru multidisciplinarne i interdisciplinarne teorije i prakse ekološkog menadžmenta. Imajući ovo u vidu, predmet rada se odnosi na upotrebu metoda procenu ekološkog rizika i rizika po životnu sredinu. Takođe rad daje pregled mogućnosti primene navedenih metoda na procenu rizika različitih ekoloških problema.*

Ključne reči: *Ekološki menadžment, Ekološka procena rizika, Procena rizika.*

Abstract: *The subject of the paper is to review and evaluate the application of existing methods for risk assessment in the framework of multidisciplinary and interdisciplinary theory and practice of environmental management. Bearing this in mind, the subject of this paper refers to the assessment of environmental risk. The paper also provides an overview of the possibilities of applying the above mentioned methods to the assessment of the risks of various environmental problems.*

Keywords: *Environmental management, Environmental risk assessment, Risk assessment.*

1. UVOD

Značaj procene ekološkog rizika sve više uzima svoj značaj u naučnoj literaturi. Asante-Duah (1998) nalazi korisnost u primeni procene ekološkog rizika medijuma životne sredine, konkretno zemlje, ali i u logističkom problemu prilikom transporta ekološki hazardnih supstanci. Calow (2009) istražuje primenu metoda procene ekološkog rizika kod celokupnih ekoloških sistema. Norton i koautori (Norton et al., 1992) daju značaj upotrebi postojećeg metodološkog okvira poput EPA metodologije. Cardona (1999) kao Petak i Atkisson (1982) zaključuju da procena rizika može da umanji posledice ekoloških katastrofa velikih razmera, kao i da su ključ preventive i planiranja preventivnih akcija. kako lokalnih uprava tako i državnih službi. Fiorino (1990) navodi potrebu za uključivanjem javnosti u pitanja od ekološkog značaja. Fewtrell i Bartram (2001), Ćirović, Petrović i Makajić-Nikolić (2016) ističu važnost procene rizika na osnovu smernica Svetske zdravstvene organizacije (*World Health Organization* – WHO).

Na makro organizacionom nivou sa stanovišta sistemskog pristupa, ovakve procene rizika mogu da značajno doprinesu smanjenju dalje degradacije životne sredine putem implementacije integrisanog pristupa planiranja i praćenja životnog ciklusa proizvoda i procene ekološkog rizika (Sonnemann, Castells, Schuhmacher, & Hauschild, 2004). Curran (1996) predstavlja praćenje ekoloških efekata životnog ciklusa proizvoda kao imperativ ekološki odgovornog poslovanja, a Linkov i koautori (Linkov, Satterstrom, Steevens, Ferguson, & Pleus, 2007) navode značaj procene ekološkog rizika u procesu odabira materijala u nanotehnologijama kao jedne od najbrže rastućih proizvodnih grana.

2. PREGLED OBLASTI PROCENE RIZIKA I EKOLOŠKOG MENADŽMENTA

Prva klasifikacija metoda i tehnika procene rizika ukazuje kako se metode i tehnike primenjuju u svakoj od faza procene rizika. Za svaku od faza u procesu procene rizika navedenih u prethodnom poglavlju se metode i tehnike ocenjuju kroz tri nivoa primenljivosti: izuzetno primenljive, primenljive i neprimenljive. Ovakvo stanovište vezano za primenu navedenih metoda i tehnika se odnosi na njihove standardne načine primena.

No, neke od njih koje početno nisu predviđene kao na primer za primenu u pojedinim fazama procene rizika, mogu se da se primenjuju i u okviru takvih faza, ali uz određene korekcije i kombinovanje sa drugim metodama i tehnikama.

Svaka metoda i tehnika se opisuje u pogledu mogućnosti njene primene koja zavisi od (ISO, 2009):

- Kompleksnosti problema i metoda i tehnika potrebnih za njihovu analizu.
- Prirode i stepena neizvesnosti procene rizika zasnovanog na količini dostupnih informacija i potrebama zadovoljenja ciljeva.
- Nivoa resursa koji su potrebni u pogledu vremena, zatim nivoa ekspertize, potrebnih podataka i troškova.
- Mogućnosti metode i tehnike da obezbedi kvantitativni izlaz.

3.PREGLED METODA I TEHNIKA PROCENE RIZIKA I NJIHOVE PRIMENA U EKOLOŠKOM MENADŽMENTU

Primeri metoda i tehnika procene rizika koji se navode po mogućnostima njihove primene u različitim fazama procene rizika su dati u sledećoj tabeli.

Tabela 1: Mogućnosti primene metoda i tehnika standarda ISO 31010 u različitim fazama procene rizika (ISO, 2009)

Metoda	**Proces procene rizika**				
	Identifikacija rizika	**Analiza rizika**			**Evaluacija rizika**
		Posledice	**Verovatnoća**	**Nivo rizika**	
Brainstorming	IP[1)]	NP[2)]	NP	NP	NP
Struktuirani i polustruktuirani intervju	IP	NP	NP	NP	NP
Delfi tehnika	IP	NP	NP	NP	NP
Čekliste	IP	NP	NP	NP	NP
Preliminarna analiza hazarda (PHA)	IP	NP	NP	NP	NP
Studija hazarda i operabilnosti (HAZOP)	IP	IP	P[3)]	P	P
Analiza hazarda i kontrolnih tačaka (HACCP)	IP	IP	NP	NP	IP
Procena toksičnosti	IP	IP	IP	IP	IP
Strukturiana „šta ako” tehnika (SWIFT)	IP	IP	IP	IP	IP
Analiza scenarija	IP	IP	P	P	P
Analiza uticaja na poslovanje (BIA)	P	IP	P	P	P
Analiza primarnih uzroka (RCA)	NP	IP	IP	IP	IP
Analiza načina i efekata otkaza (FMEA, FMECA)	IP	IP	IP	IP	IP
Analiza stabla neispravnosti (FTA)	P	NP	IP	P	P
Analiza stabla događaja (ETA)	P	IP	P	P	NP
Analiza uzroka i posledica	P	IP	IP	P	P
Analiza uzroka i efekata	IP	IP	NP	NP	NP
Analiza slojeva zaštite (LOPA)	P	IP	P	P	NP
Analiza stabla odlučivanja	NP	IP	IP	P	P
Procena ljudske pouzdanosti (HRA)	IP	IP	IP	IP	P
Leptir mašna analiza	NP	P	IP	IP	P
Održavanje usmereno na pouzdanost	IP	IP	IP	IP	IP
Analiza skrivenih (latentnih) hazarda (SA)	P	NP	NP	NP	NP

Markovljeva analiza	P	IP	NP	NP	NP
Monte Carlo simulacija	NP	NP	NP	NP	IP
Bajesova statistika i Bajesove mreže	NP	IP	NP	NP	IP
FN krive	P	IP	IP	P	IP
Indeksi rizika	P	IP	IP	P	IP
Matrica posledica i verovatnoća	IP	IP	IP	IP	P
Cost benefit analiza (CBA)	P	IP	P	P	P
Višekriterijumsko odlučivanje (MCDA)	P	IP	P	IP	P
1) IP – izuzetno primenljivo 2) P - primenljivo 3) NP - nije primenljivo					

Već je navedeno da standard ISO 31010 obuhvata i objašnjava prednosti i nedostatke primene različitih metoda i tehnika za procenu rizika u rešavanju širokog spektra problema vezanih za procenu rizika. Dodatno ovaj standard izdvaja 31 metodu i tehniku na nivou klasifikacije različitih mogućnosti njihove primene kao onih koje se najčešće koriste. Sledeća lista metoda i tehnika nikako ne predstavlja konačnu listu, već samo izvod metoda i tehnika koje imaju najširu i najčešću primenu, a istovremeno predstavljaju i osnovu od koje su nastale mnoge druge metode i tehnike koje koriste isti ili sličan pristup u proceni rizika. Ta lista obuhvata metode i tehnike koje mogu da se svrstaju u četiri kategorije:

- Opšte metode i tehnike procene rizika:
- Metode i tehnike procene rizika orijentisane na uzroke:
- Metode i tehnike procene rizika orijentisane na posledice:
- Metode i tehnike procene rizika orijentisane na poređenje rizika:

4. ZAKLJUČAK

Prvi se odnosi na činjenicu da iako ne postoji jedinstvena metodologija procene rizika u ekološkom menadžmentu, ipak se sve istražene metode i tehnike zasnivaju na metodologiji standarda ISO 31000.

Drugo, primećuje se da postoje razlike između procene ekološkog rizika i procene rizika po životnu sredinu, pri čemu ova razlika najviše zavisi od autora koji sprovode istraživanja. Razlike se zasnivaju na tome da li u deo procene rizika ulazi i procena rizika po zdravlje ljudi. Može da se zaključi da procena rizika u ekološkom menadžmentu mora da podrazumeva i procenu rizika po zdravlje ljudi i po životnu sredinu. U literaturi u SAD ovo podrazumeva procenu rizika po životnu sredinu koja uključuje procenu ekološkog rizika i procenu rizika po zdravlje ljudi, dok u Evropi oba ova faktora uključuje procena ekološkog rizika.

Dodatno samo polje procene ekološkog rizika je polje koje u mnogome zavisi od zakonodavstva pojedinačnih zemalja tako da su različiti mesto i značaj kao i način primene koje procena ekološkog rizika zauzima u okviru tih zemalja.

LITERATURA

[1] Asante-Duah, D.K. (1998). Risk assessment in environmental management. John Wiley & Sons, Chichester, England.

[2] Calow, P. P. (Ed.). (2009). Handbook of environmental risk assessment and management. John Wiley & Sons, Chichester, England.

[3] Cardona, O. D. (1999). Environmental management and disaster prevention: Two related topics: A holistic risk assessment and management approach. Natural disaster management, 151-153.

[4] Ćirović, M Petrović, N., Makajić-Nikolić, D. (2016). Procena rizika u ekološkom menadžmentu, Zbornik radova SIM-OP-IS 2016 43 Međunarodni skup O operacionim istraživanjima, 20-23.9.2016, Tara, 2016, str. 49-52, ISBN, 978-86-3350535-2.

[5] Critto, A., & Suter II, G.W. (2009). Environmental risk assessment. In Decision Support Systems for Risk-Based Management of Contaminated Sites (pp. 1-23). Springer US.

[6] Curran, M. A. (1996). Environmental life-cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1(3), 179-179.

[7] International Organisation for Standardisation (ISO). (2009). International Electrotechnical Commission. (2009). IEC/ISO 31010: 2009. Risk management-risk assessment techniques. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

[8] Linkov, I., Satterstrom, F. K., Steevens, J., Ferguson, E., & Pleus, R. C. (2007). Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research, 9(4), 543-554.

[9] Norton, S. B., Rodier, D. J., van der Schalie, W. H., Wood, W. P., Slimak, M. W., & Gentile, J. H. (1992). A framework for ecological risk assessment at the EPA. Environmental toxicology and chemistry, 11(12), 1663-1672.

[10] Petak, W. J., & Atkisson, A. A. (1982). Natural hazard risk assessment and public policy: anticipating the unexpected (No. 363.34 P477). New York: Springer-Verlag.

[11] Sonnemann, G., Castells, F., Schuhmacher, M., & Hauschild, M. (2004). Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. The International Journal of Life Cycle Assessment, 9(3), 206-207.

[12] World Health Organization. (2001). Water quality: Guidelines, standards, and health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. L. Fewtrell, & J. Bartram (Eds.). IWA publishing.Fiorino, D. J. (1990). Citizen participation and environmental risk: A survey of institutional mechanisms. Science, technology & human values, 15(2), 226-243.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SOLAR STORM ATTACKS, EFFECTS AND PUBLIC AWARENESS: A CASE STUDY OF THE REPUBLIC OF SERBIA

IGOR LAVRNIĆ[1], MINJA MARINOVIĆ[2], MILENA POPOVIĆ[3], BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC[4]

[1] University Singidunum, Faculty of Technical Sciences, ilavrnic@gmail.com
[2,3,4] University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, marinovic.minja@fon.bg.ac.rs; milenap@fon.bg.ac.rs; bisera@fon.bg.ac.rs

Abstract: *The power outage caused by solar storm attack could paralyze the nation for a prolonged period of time. The time required for full recovery of infrastructural and vital public service would depend on both the disruption and damage done to the electrical power infrastructure. The paper analyses possible effects on everyday life caused by such storms, as well as current population awareness and knowledge of solar storm attack effects that will be given through the results of a survey conducted in the Republic of Serbia. Furthermore, authors provide a set of corrective and preventive measures and proposals in order to increase population awareness of solar storms threats and give an overview on how minor investments can significantly improve current state of power network in case of a solar storm attack.*

Keywords: *Solar storm attack, solar storm threats, recovery measures, survey*

1. INTRODUCTION

Regarding the omnipresent scientific discussion and ongoing debate over the impacts, attacks, effects and public awareness of solar storm, authors of this paper decided to conduct a survey on this issue within the representative population of the Republic of Serbia. Solar storm represents a temporary disturbance of the earth's magnetic field, induced by radiation and streams of charged particles from the sun, also called geomagnetic storm. Solar storms consist of three major components: solar flares, solar proton events (SPEs) and coronal mass ejections (CMEs). In literature Daglis *et al* (2007) note particular causes and dynamical characteristics of intense geo space storms. Gulyaeva (2017) explored mutually-consistent thresholds for the intense, moderate and weak space weather storms. Talib and Mogotlhwane, (2011) illustrated the destructive power of solar storms. Liu *et al (*2009*)* calculated geo magnetically induced currents in mid to low latitude power grids.

Earth Magnetosphere is not steady. Weakening (collapse) of the Earth's magnetic field started 150 years ago. The field strength is already quite weak and its deterioration recently accelerated, leading to jeopardizing consequences. Solar storms are a phenomenon that has a wide scope of consequences on technological systems and power systems in particular. During solar storms a Geomagnetic Induced Current (GIC) starts to flow through conducting structures, such as power lines and pipelines (Thorberg 2012). The probability of solar storms has a roughly linear relation reflecting the sunspot activity which varies in 11 years cycles. The most vulnerable spots for solar storm attacks are energy transformation points since they can cause a prolonged power outage, which can paralyze the nation for a long period of time (Afgan *et al*, 2013).

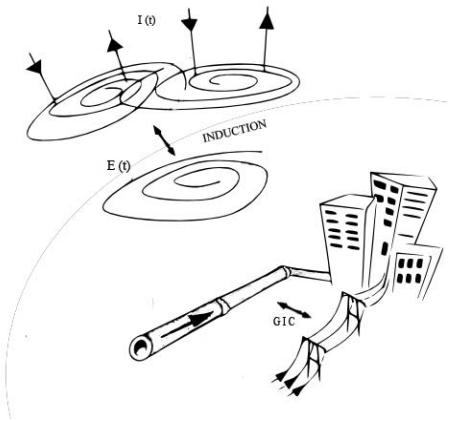


Figure 1. Geomagnetic Induced Current

There are three types of solar storm attack: solar flares (magnetically driven explosions on the surface of the sun), solar proton events (when particles emitted by the Sun become accelerated either close to the Sun during a flare or in interplanetary space by coronal mass ejection shocks) and coronal mass ejection (vast clouds of seething gas, charged plasma of low to medium energy particles with imbedded magnetic field, blasted into interplanetary space from the Sun) (Marusek 2007).

Since the prolonged power outage is the biggest problem of solar storm attacks this paper puts focus on the impact they have on various aspects of everyday life. For example it is known that most of people can survive only few days without access to clean drinking water. Power outage causes water pumps failures so water systems can't process water distribution properly. Waste treatment facilities are also threatened with power outage since they can't function normally due to a loss of electricity, then the untreated waste stream can either end up into rivers, streams or lakes or back into homes and corporate premises.

Transportation system is definitely one of the most jeopardized infrastructures in case of a solar storm attack. Road traffic, all the cars and buses will be significantly affected with the power outage since the traffic lights will stop functioning. Airlines and railway traffic would also be affected with power outage due to malfunction of navigation radars. Beside the transportation, banking sector is in danger since the electricity outage can produce a loss of access to funds. Credit card usage, bank transactions and ATM cash withdrawals are significant dependent on the availability of electricity. Commerce and industry will be affected by the same problems as homes due to interruption of water supply and similar. It should be mentioned that in a case of a solar storm attack, power outage can also affect people who are inside subway trains in capital cities, people who lives in tall buildings, schools and child care centers (Marusek 2007).

2. RESEARCH

Considering the given threats to citizens and their life habits in case of an solar storm attack, authors came to an idea to check the current situation and awareness of people in the Republic of Serbia of possible effects of solar storm attacks. In order to do that, the survey was conducted in Serbia, in April 2017. In total, 404 individuals answered the survey. After the elimination of incomplete answers, 388 eligible responses were collected. In the total sample, slightly more than half of respondents were male (51%). The average age of participants was 39.04 years (range 18-65 years) with the following age distribution: 15-18 years (1.3%) 19-24 years (10.4%) 25-34 years (27.2%) 35-49 years (47.8%) 50-64 years (11.2%). Half of all respondents have a higher education or more (50.2%). Among all respondents, only 22.9% are unemployed, while the rest is working either as an individual entrepreneur (9.2%) or in private or public sector (58%).

The questionnaire was divided into four parts. Introductory set of questions represented general questions about demographic characteristics, second group of questions was dedicated to general knowledge of respondents about solar storms.

In a case of a solar storm attack, 64% of all respondents stated that they would be able to handle this type of challenge, 13% of respondents stated that they would choose to stay at home and wait until the danger is gone, since they believe that storm is not something as jeopardizing as its being represented in media, 26.2% would seek for some kind of shelter, while 24.9% of respondents would stay at home and would build their own shelter following the instruction provided by the authorities. During our analysis we have examined the importance of gender issue and we discovered that the only significant difference

between man and woman is on possible life treatment of case of a solar storm attack, where 17.9% of man choose to stay at home instead of woman (8.3%).

How prepared respondents would be in a case of situation of such magnitude as solar storm poses is reflected also by respondents financial balance kept in cash (Figure 2) and fuel reserve in any given moment. Most of the respondents (27%) reported a fuel reserve for only 100km, 22.6% respondents has a fuel reserve for 200km, 11% for 300km, 9.4% has full fuel tank, while the 20.1% of all respondents doesn`t have a car and expect that authorities would provide the transportation in such situations. It should be noted that in case of solar attack only cash money is valid for some time since the banks and all electronic devices are off due to power outage. It should be noted that this reflects low level of population preparedness since only 9.4% of respondents have full fuel tank and less than 20% has at least 500 euro in cash.

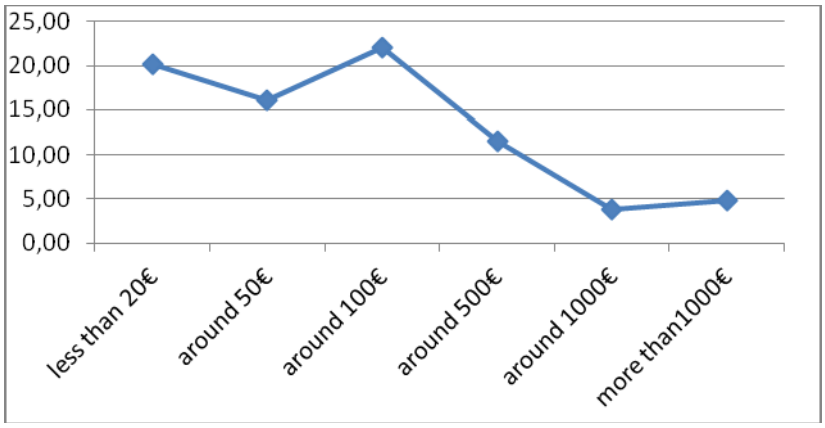


Figure 2. Average sum of cash which respondents owns in case of an emergency situation

Most of solar storms have only minor effects and they are usually followed by short power outage, communication problems, collapse of air navigation systems and/or loss of few satellites (Lavrnić and Viduka, 2014). More than half of respondents (58,5%) said that in case of a long power outage they would still choose to stay at their homes, while 25,7% expect from authorities to provide them with shelter. Additional question was what they would do in case they realize that evacuation is better option, 26.7% respondents would stay with their relatives, 29.5% with their parents, while 32.3% of respondents would try to find shelter within their property in rural areas. One of the reasons for such high number of respondents that don't want to leave their homes in case of a solar attack is the fact that most of them think how power outage can't last more than 7-30 days (62% of all respondents).

Third group of questions was dedicated to examine the influence of a solar storm effects on business and workplaces. This part of analysis examines only the employed respondents. Interesting fact among respondents was that even in a case of a solar attack, the 40% of them will try to take advantage of that situation and try to find a way to keep business running, mostly by investing in an electric generator. In case of a solar attack, more than a half of respondents believe that emailing system will recover promptly and that such attack would not be damaging to their jobs, while just 5.9% of them would switch to an alternative methods of communication since they believe that emailing system would be unusable for a while. When it comes to the effects of solar attack on production, only 20% of respondents think that production process would be completely stopped. Also an interesting fact is that almost 80% of all respondents wouldn't rely on authorities in order to solve the problem, but instead they would try handling the situation by themselves.

Damaged parts of electric grid are problematic to recover or replace and such procedure can last for months, because of their uniqueness and the lack of supplies. 52.4% of respondents believe that they would lose their jobs or continue to work at much lower scale, while only 12.7% of them are on such job positions which do not depend on power outage.

Both, the road (Figure 3) and air (Figure 4) traffic should be limited in case of a solar attack. Half of the respondents believe that situation would come back to normality quite fast while the other half thinks that traffic would be in total collapse. 52.7% of respondents believe that the road traffic would be the first to revitalize after the attack.

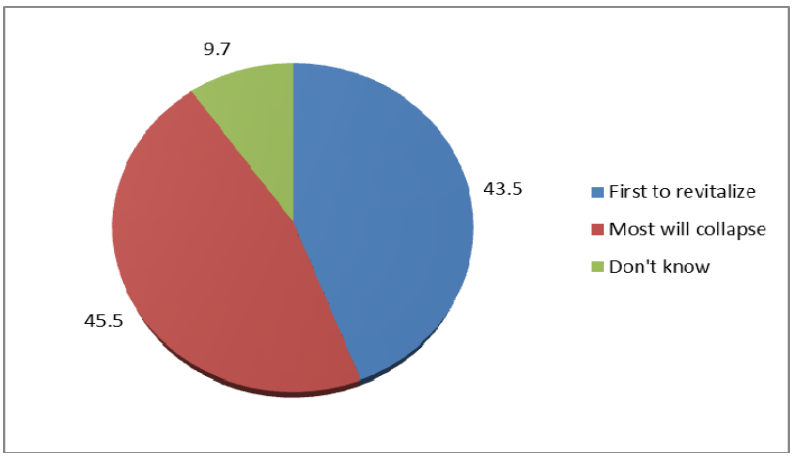


Figure 3. Road traffic in case of a solar storm attack

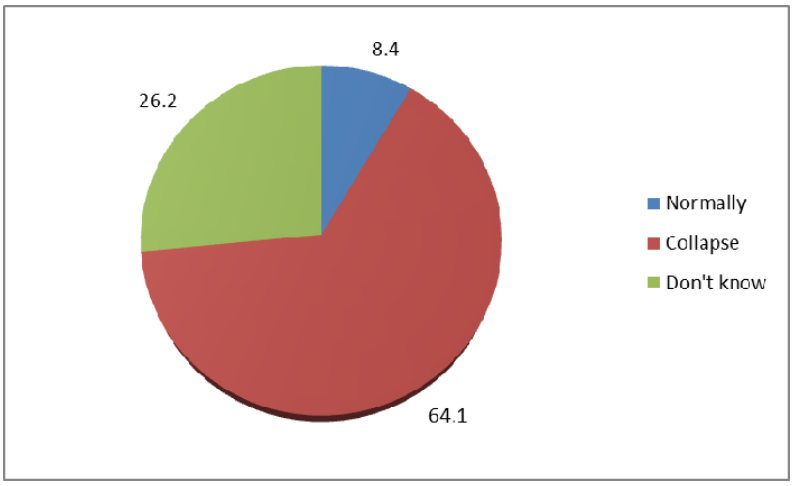


Figure 4. Air traffic in case of a solar storm attack

Last group of questions tries to examine the respondents' safety awareness and the trust in state functioning during and after the storm attack.

When it comes to the trust in the safety mechanisms that would be provided by the state in case of a solar attack, 25.4% of respondents believe that they would have to find the way to survive by themselves, while the rest of the respondents think that the influence on security level would be negligible. Also, most of the respondents don't have a trust in government authorities, or their ability to recover quickly in case of a solar storm attack. They also consider that such scenario would result in the total collapse of their work capacities and that they would need a lot of time to get back to previous state of functionality. In case of a solar attack on Serbia, most of the respondents (53.9%) don't have trust in our health system and think that hospitals would be overcrowded and that they would not have anyone to contact in case of an emergency. Nevertheless, most of respondents (69%) think that Country wouldn't be able to recover by itself from consequences of solar attack without help from abroad.

3. IMPROVEMENTS AND SUGGESTION OF CORRECTIVE MEASURES

One sure way to mitigate risks is to develop full-scale and tabletop exercises that can effectively measure readiness and population ability to respond to a crisis of this magnitude according to Business Continuity and Disaster Recovery practice and standards. If this is accomplished, population would be able to increase readiness and would provide indicators for identification most risk prone structural flaws which need financial investments in order to avoid potential catastrophes that could severely impact country's economy and population life's.

One investment could be in the development of geophysical models that measure the time-varying sources in the atmosphere and how they relate to a conductivity model on the Earth (Vasyliunas, 2013). It is essential that we analyze major storms and their consequences so that vulnerabilities can be identified in the

transmission system with hypothetical event scenarios. It is time for the Balkan countries to work together by including emergency managers on local and state level, as well as government agencies to develop policies and procedures that can be carried out by the public and private sector to minimize the effects of solar attack threat. Both public and private sectors must come to terms with this potential crisis. High-density power lines can be replaced with low-density lines that are more favorable to Geomagnetic Induced Current. Cathode protection is one of techniques often used to control corrosion of a metal surface by making it the cathode of an electrochemical cell. Attaching another more easily corroded metal to act as the anode of the cell does this. This process is often used on pipelines, storage tanks, oil platforms, oil wells, etc. and could be applied to long lines; Purchasing of Emporiums Transformer Neutral Blocking Device which is blocking Geomagnetic Induced Current, and installing it in Power Distribution Systems. Installing a Metal oxide varistors which are providing an over-voltage protection as well as providing engine-generators to water plants in order to provide emergency power and maintain water supply.

On the other side, media and news sources would be great allay to the overall national protection by presenting and reporting on hypothetical event scenarios and official manuals provided by the authorities in case of a solar storm attack.

4. CONCLUSION AND FURTHER RESEARCH AIMS

As already mentioned, most of solar storms produce only minor effects on Earth. Main conclusion should be that regardless of their education, most of the citizens in the Republic of Serbia are not familiar with solar attacks and their impacts on everyday life. Whatever the case, the fact is that in a case of solar attack most of the fundamental infrastructures and systems would suffer by the loss of electricity, which for the consequence would have loss of water supply, which further implies lack of personal hygiene, which leads to deceases and bacteria.

Similarly, this kind of attack will expand and have influence on other structures and fields. So, considering the possible treatments of this scenario we must take this very seriously and try to do whatever it takes to prevent such an outcome.

REFERENCES

[1] Afgan, N., Cvetinovic, D., & Pilvachani, P., (2013). Catastrophe of power transmission system; Energy and Power Engineering, 5(8), 498-505, doi: 10.4236/epe.2013.58054.

[2] Daglis, I., A., Tsurutani, B., T., Gonzalez, W., D., Kozyra, J., U., Orsini, S., Cladis, J., ... & Vassiliadis, D., (2007). Key features of intense geospace storms—A comparative study of a solar maximum and a solar minimum storm. Planetary and Space Science, 55(1), 32-52.

[3] Gulyaeva, T., L., (2017). Ranking ICME's efficiency for geomagnetic and ionospheric storms and risk of false alarms. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 164, 39-47, ISSN 1364-6826.

[4] Lavrnić, I., & Viduka, D., (2014). Kontinuirano poslovanje i oporavak od katastrofa i izazovi solarnog udara na Srbiju. Singidunum Journal of Applied Sciences, 1(2), 635-640.

[5] Liu, C.-M., Liu, L.-G., Pirjola, R., & Wang, Z.-Z., (2009). Calculation of geomagnetically induced currents in mid- to low-latitude power grids based on the plane wave method: A preliminary case study, Space Weather, 7, *S04005, doi:*10.1029/2008SW000439.

[6] Marusek, J., A., (2007). Solar Storm Threat Analysis. Impact, Bloomfield, Indiana 47424.

[7] Talib, M., & Mogotlhwane, T. M., (2011). Global Failure of ICT due to Solar Storm: A Worst Case Scenario Ahead. Procedia Environmental Sciences, 8, 371-374.

[8] Thorberg, R., (2012). Risk analysis of geomagnetically induced current in power systems; Division of Industrial Electrical Engineering and Automation, Faculty of Engineering, LTH, Lund University, Lund.

[9] Vasyliunas, V., (2013). Time scale of the largest imaginable magnetic storm. Nonlinear Processes Geophysics, 20(1), 19–23.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

KVALITET VISOKOŠKOLSKOG EKOLOŠKOG OBRAZOVANJA ZA ODRŽIVOST

QUALITY OF HIGHER ENVIRONMENTAL EDUCATION FOR SUSTAINABILITY

DAMJAN MALETIČ[1], TATJANA BOROJEVIĆ[2], NATAŠA PETROVIĆ[3], MATJAŽ MALETIČ[4], MARJAN SENEGAČNIK[5]

[1] Univerzitet u Mariboru – Fakultet organizacionih nauka, damjan.maletic@fov.uni-mb.si
[2] Univerzitet u Mariboru – Fakultet organizacionih nauka, tatjana.borojevic@panacea.rs
[3] Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, petrovicn@fon.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Mariboru – Fakultet organizacionih nauka, matjaz.maletic@fov.uni-mb.si
[5] Univerzitet u Mariboru – Fakultet organizacionih nauka, marjan.senegacnik@fov.uni-mb.si

---

Rezime: *U radu autori naglašavaju kao najvažniji uslov za uspešan prelazak na održivi model razvoja čovečanstva - kvalitet ljudskih resursa u kome ekološko obrazovanje za održivost ima bitnu ulogu, imajući u vidu da kao svoj cilj ima usmeravanje mladih ljudi kao nosioca budućeg opšteg razvoja ka održivosti tokom čitavog njihovog života, nezavisno od oblasti njihovih karijera. Zato ekološko obrazovanje za održivost podrazumeva integraciju društvene, ekološke i ekonomske dimenzije. Takođe, autori rada, usmeravaju pažnju na razvoj kvaliteta visokoškolskog ekološkog obrazovanja za održivost imajući u vidu da ovakvo obrazovanje „daje“ ekološki obrazovane studente za intenzivne društvene promene potrebne za dostizanje ciljeva održivog razvoja.*

Ključne reči: *Ekološko obrazovanje, Održivi razvoj, Održivost, Ekološko obrazovanje za održivost, Kvalitet ekološkog obrazovanja za održivost.*

Abstract: *In this paper, the authors emphasize as the most important requirement for a successful transition to a sustainable model of development of humanity - the quality of human resources. in which environmental education has an important role, bearing in mind that it has as a goal directing of young people as carriers of the future development towards sustainability throughout their lives, regardless of the field of their careers. Therefore environmental education for sustainability involves the integration of socio, environmental and economic dimension. Also, the authors of the paper directed attention to the development of quality of higher environmental education for sustainability bearing in mind that this kind of education "produces", environmental educated students for the extensive social changes needed for achieving sustainable development goals.*

Keywords: *Environmental education, Sustainable development, Sustainability, Environmental education for sustainability, Quality of higher environmental education for sustainability.*

1. UVOD

Sa jedne strane kvalitet obrazovanja ima ključnu ulogu ne samo u poboljšanju kvaliteta poslovanja već i u postizanju opšteg kvaliteta imajući u vidu da on proističe iz kvaliteta ljudi koji je uslovljen kako investiranjem u ljudske resurse, tako i znanjem i veštinama, postajući izuzetno važan posebno u ekonomijama koje se zasnivaju na znanju (Dudek-Burlikowska, 2006; Lisiecka, 2001; Skrzypek, 2001; Skrzypek, 2006). Iz ovih razloga Arcaro (2002) naglašava da kvalitet mora biti najvažnija osobina obrazovanja, poslovanja i politika, dok Dishad (2010) ističe da kvalitet obrazovanja mora da predstavlja urgentan i jedan od najpotrebnijih ciljeva celog čovečanstva. Jedan od šest ciljeva koje ističe Okvir za akciju Svetskog foruma o obrazovanju, Dakar (*World Education-Dakar-Framework for Action*) se odnosi na poboljšanje „svih aspekata kvaliteta obrazovanja“ sa ciljem dostizanja identifikovanih ciljeva učenja (UNESCO, 2000; Petrović & Jokić, 2016). Sa druge strane, granice mogućnosti planete Zemlje koje ona može da pruži ljudskoj civilizaciji su u reciprocitetu sa onima koje se odnose na granice onoga što planete može da „primi“ od nas. Poremećaj prirodne ravnoteže prouzrokovan ljudskim delatnostima izaziva promene u globalnom ekosistemu kao što su promene temperature, klime i obrazaca vremena. Takve promene pogoršavaju uslove preživljavanja mnogih populacija, uključujući i našu – ljudsku i sve se pod jednim imenom nazivaju ekološke krize (UNESCO - Division of Science, Technical and Environmental Education,

1986). To su razlozi zbog kojih postojeće ekološke krize zahtevaju holističko ekološko obrazovanje i zašto je na konferenciji Ujedinjenih nacija u Stokholmu o čovekovoj životnoj sredini (*United Nations Stockholm Conference on the "Human Environment"*) 1972. godine preporučeno u principu 19. Deklaracije Ujedinjenih nacija o čovekovoj životnoj sredini (*Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*) da sve nacije promovišu ekološko obrazovanje koje mora biti kako adekvatno tako i kvalitetno, razvijeno u skladu sa principima održivosti sa ciljem obuhvatanja ekološke problematike radi proširenja osnova za odgovorno ponašanje pojedinaca, organizacija i zajednica u zaštiti i poboljšanju životne sredine (United Nations, 1972).

2. EKOLOŠKO OBRAZOVANJE

Evidentno je da se ekološke krize pogoršavaju a da koncept održivog razvoja dobija neophodno i zasluženo mesto, imajući u vidu njegov potencijal da bude efikasan i dugoročan, te jedini princip koji obezbeđuje opstanak rastuće svetske populacije i ekonomije koje dovode i do porasta potreba za resursima (Smyth, 2004). Sachs (2015) naziva današnje doba – dobom održivog razvoja (*The Age of Sustainable Development*) ističući da je održivi razvoj organizacioni princip za sve politike, ekonomije i etike. Kao najvažniji uslov za uspešan prelazak na održivi model razvoja ističe se kvalitet ljudskih resursa u kome ključnu ulogu ima adekvatno i kvalitetno odnosno „dobro ekološko obrazovanje". Mnogi autori se slažu da je dobro ekološko obrazovanje od krucijalnog značaja za dositizanje održivog razvoja koji će obezbediti neophodan način života za ljude u okviru kapaciteta prirode (npr. McCormick et al., 2005; UNESCO, 2012; Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic, 2014). Preciznije, postizanje ciljeva očuvanja ekosistema, ponašanje čitavih društava prema biosferi mora da se transformiše tako da je dugoročni zadatak ekološkog obrazovanja da podstiče i ojačava stavove i ponašanja u skladu sa ekološkom etikom (IUCN-UNEP-WWF, 1980). Treba istaći da ne postoji jedna, jednoznačna definicija ekološkog obrazovanja, tako da su u upotrebi različite interpretacije ovog termina kao na primer sledeće:

- Ekološko obrazovanje je most ka održivosti i predstavlja jedno od neophodnih rešenja za konzervaciju životne sredine još od Svetske konferencije u Štokholomu (*World Conference of 1972 in Stockholm*) (Hawthorne & Alabaster 1999; NIER, 2004; Meerah, Halim, & Nadeson, 2010).
- Ekološko obrazovanje je proces učenja koji povećava znanja i svesnost ljudi o životnoj sredini i izazovima koji se odnose na nju kroz razvoj neophodnih veština i ekspertiza sa ciljem odovora na ove izazove, te ohrabrivanja stavova, motivacija i obaveza radi donošenja odluka zasnovanih na informacijama i preduzimanja odgovornih akcija (UNESCO-UNEP, 1978).
- Ekološko obrazovanje je više od prenošenje informacija i razvijanja ekološke svesti jer treba da obezbedi duboko razumevanje i funkcionalno znanje o pitanjima u vezi sa životnom sredinom kao i osećaju brige za životnu sredinu i motivacije za učešće u njenoj zaštiti i unapređenju (Hines et al., 1986-87; Hungerford & Volk, 1990).

No, i pored toga što širom sveta postoje različite definicije ekološkog obrazovanja, te ne postoji univerzalni konsenzus o ekološkom obrazovanju kao ni univerzalno ekološko obrazovanje koje se može primeniti na sve zemlje i regione, postoji konsenzus o osnovnim komponentama ekološkog obrazovanja, odnosno problemima i pitanjima održivosti i održivog razvoja koji moraju da budu naglašeni u ekološkom obrazovanju (Wals & Kieft, 2010). Tako, ekološko obrazovanje podrazumeva integraciju sledeće tri dimenzije (UNESCO, 2009):

1. *Društveno-kulturna dimenzija.* Odnosi se na pitanja u vezi sa ljudskim pravima, zatim na: mir i sigurnost, jednakost polova, kulturnu raznolikost i interkulturno razumevanje, zdravlje i nove oblike upravljanja.
2. *Ekološka dimenzija*. Odnosi se na pitanja u vezi sa životnom sredinom, prirodnim resursima, klimatskim promenama, biodiverzitetom, ruralnim razvojem, održivom urbanizacijom, sprečavanjem i ublažavanjem katastrofa…
3. *Ekonomska. dimenzija*. Odnosi se na pitanja u vezi sa smanjenjem siromaštva, korporativnom društvenom odgovornošću i preusmeravanjem tržišne ekonomije.

3. EKOLOŠKO OBRAZOVANJE ZA ODRŽIVOST

Kada se govori o održivosti treba istaći da slično shvatanju koncepta ekološkog obrazovanja postoji i više definicija održivosti i načina shvatanja ovog koncepta (Pezzey, 1989; Costanza, 1991; Pearce & Atkinson, 1993; Costanza & Patten, 1995). Tako se održivost može definisati kao:

- Proces poboljšanja kvaliteta ljudskog života u skladu sa ekosistemima (IUCN & WWF, 1991).

- Pristojan standard života sadašnje generacije, bez ugrožavanja potreba budućih generacija za odgovarajućim standardom (UN, 2017).
- Zajedničko razmatranje ekonomskih, ekoloških i društvenih potreba kao osnova za sistemske promene (Roome & Cahill, 2001; Gomišček, Maletič, & Maletič, 2016).
- Uslovi u kojima ljudi i priroda mogu da egzistiraju u produktivnoj harmoniji (EPA, 2017).
- Sveobuhvatan i sistemski koncept koji ima za cilj da maksimizira dobit životne sredine, ekonomije i društva (Vallance, Perkins, & Dixon, 2011; Maletič, Maletič, Dahlgaard, Dahlgaard-Park, & Gomišček, 2014).
- Razvoje koji zadovoljava potrebe sadašnjice čuvajući sistem planete Zemlje od koga zavisi dobrobit sadašnjih i budućih generacija (Griggs et al., 2013).

Kada je u pitanju ekološko obrazovanje za održivost (*Environmental Education For Sustainability* – EEFS), treba naglasiti da se njegovi počeci vezuju za devedesete godine prošloga veka, kada se shvatilo da su potrebne promene koje dovode do održivog načina života ljudske populacije, a koje se jedino mogu dostići putem obrazovanja (Sterling, 1990; Tilbury, 1995). Zaključeno je da ekološko obrazovanje mora da se reorijentiše, odnosno usmeri na poboljšanje kvaliteta života ljudi, uz rekonceptualizaciju suštine i ciljeva ekološkog obrazovanja u smislu ojačavanja njegove interdisciplinarnosti i globalnog pristupa ne samo sagledavanja, već i rešavanja ekoloških problema. Kao rezultat, ekološko obrazovanje za održivost nema za svrhu samo ekološka poboljšanja već suštinsko obrazovanje za dugoročnu održivost. Preciznije, ekološko obrazovanje za održivost prema Svetskoj strategiji za konzervaciju (*World Conservation Strategy*) i Brundtland izveštaju (*Brundtland Report*) podrazumeva potrebe za: pomirenjem ekonomskog razvoja i konzervacije životne sredine, stavljanjem ekoloških briga u društveno-ekonomski i politički kontekst, kombinovanjem ekoloških i razvojnih potreba (IUCN/UNEP/WWF, 1980; WCEF, 1987).

U Agendi 21 koja predstavlja rezultat konferencije Ujedinjenih nacija o životnoj sredini i razvoju (*United Nations Conference on Environment and Development*) iz Rio de Žaneira 1992. godine, posebno treba izdvojiti poglavlje 36 (Obrazovanje, Svest i Trening) u kome se ističe problematika održivosti u ekološkom obrazovanju i posebno naglašava *uloga univerziteta* u dostizanju: reorijentacije obrazovanja ka održivom razvoju i održivosti, povećanju nivoa javne svesti o ekološkoj problematici i promociji ekoloških treninga za edukatore (Agenda 21, 1992).

4. RAZVOJ KVALITETA VISOKOŠKOLSKOG EKOLOŠKOG OBRAZOVANJA ZA ODRŽIVOST

Pojam kvaliteta (kao i pojmovi ekološko obrazovanje i održivost) takođe nije jednoznačno određen. Tako se kvalitet može definisati kao „usaglašenost sa zahtevima“ (Crosby, 1979), „podobnost za upotrebu“ (Juran & Gryna, 1980), ali i „predvidljiv stepen uniformnosti i pouzdanosti koji ima nisku cenu i odrgovara tržištu“ (Deming, 1986).

S druge strane, kada je u pitanju kvalitet obrazovanja, treba istaći da ovaj kvalitet predstavlja dinamički i multidimenzionalni kocept koji se ne odnosi samo na model obrazovanja, već i na misiju i ciljeve obrazovne institucije kao i specifične standarde koji se primenjuju u obrazovanju. Iz ovih razloga, u kontekstu visokoškolskog obrazovanja, postoje brojne diskusije o određenju kvaliteta obrazovanja imajući u vidu njegove „nematerijalne rezultate“ (Green, 1994; Harvey, 1995). Tako npr. Fincher (1994) opisuje uvođenje kvaliteta u visoko obrazovanje putem prelaska sa iskustva na tehnike, stil i konačno proces. U svakom slučaju, kvalitet visokog obrazovanja može da se definiše u (Lazić, 2007):

- *širem smislu* kao usaglašenost visokog obrazovanja (rezultata, procesa i sistema) sa potrebama i zahtevima korisnika, ciljevima, normama i standardima.
- *užem smislu* kao usaglašenost pripreme visokoobrazovanih stručnjaka (rezultata, procesa) sa potrebama i zahtevima korisnika ciljevima, normama i standardima.

Idealno, kvalitet visokog obrazovanja se dostiže postizanjem kvaliteta glavnih funkcija univerziteta i fakulteta odnosno obrazovanja, istraživanja i usluga za zajednicu (Bowden & Marton, 1998), pri čemu glavni proces za sve tri funkcije predstavlja - učenje. Razvoj kvaliteta visokog obrazovanja jedino može da bude dostignut promenama kulture na akademskom nivou unutar univerziteta i fakulteta, tako da su standardi kvaliteta koji se primenjuju u visokoškolskim ustanovama (Harvey, 1995; Srikanthan & Dalrymple, 2002):

- Sistem osiguranja kvaliteta ISO 9000 standard (predmeti se dizajniraju tako da zadovolje potrebe korisnika odnosno studenata i zajednice, procesi su efektivni i efikasni).
- Model Totalnog upravljanja kvalitetom (TQM) (stalno poboljšanje, posvećenost menadžmenta, uvažavanje potreba korisnika, timski rad i organizaciona kultura, upotreba statističkih metoda i tehnika u monitoringu procesa).

Treba napomenuti da od početka realizacije Bolonjskog procesa kvalitet visokog obrazovanja postaje predmet svih reformskih promena sa ciljem obezbeđivanja konkurentnog i efikasnog obrazovanja uz

unapređenje saradnje između različitih visokoobrazovnih institucija Evrope. Iz ovih razloga uspostavljaju se i uporedivi i transparentni kriterijumi sa ciljem unapređenja i osiguranja kvaliteta u visokom obrazovanju kao što su politike, procesi vrednovanja i evaluacije, a radi ojačavanja kapaciteta za dugoročni društveno ekonomski rast i stabilnost (Network, 2012).

Dalje, neophodno je da se razvoj kvaliteta visokoškolskog ekološkog obrazovanja za održivost zasniva na Taloar deklaraciji (*The Talloires Declaration*) iz 1990. godine koja predstavlja zvaničnu deklaraciju o neophodnoj posvećenosti visokoškolskog obrazovanja ekološkoj održivosti, ističući neophodnost uvođenja literature iz oblasti održivosti i zaštite životne sredine kako u kurikulume i silabuse predmeta na fakultetima, tako i u predavanja, naučna istraživanja i sam rad i delovanje fakulteta i univerziteta. U Deklaraciji se jasno ističe da univerziteti moraju da obezbede liderstvo i podršku radi pokretanja internih i eksternih resursa u zajedničkom radu ka i za ekološku održivost (Association of University Leaders for Sustainable Future, 1990). Zaključuje se da „kvalitetno“ visokoškolsko ekološko obrazovanje za održivost mora da podrazumeva: poboljšanje svesti o ekološkom održivom razvoju; kreiranje institucionalne kulture održivosti; obrazovanje ekološki odgovornih građanja; unapređenje ekološke pismenosti za sve; praktikovanje „institucionalne ekologije“; uključivanje svih stejkoldera; interdisciplinarni prilaz; jačanje kapaciteta obrazovanja u osnovnim i srednjim školaza za ovo obrazovanje; sarađivanje sa nacionalnim i međunarodnim organizacijama radi promocije uloge univerziteta u dostizanju održive budućnosti; održavanje univerzitetskog pokreta za obrazovanje za održivi razvoj i održivost. Dalje, kvalitet visokoškolskog ekološkog obrazovanja za održivost se ogleda i u njegovoj jedinstvenosti u pogledu toga što je usmereno na studente obezbeđujući im mogućnosti da dođu do samostalnih zaključaka kroz *hands-on* istraživanja uz upotrebu veština kritičkog razmišljanja i donošenja odluka uz neophodnu ekološku pismenost i primenu ekološke etike. Ovo se obezbeđuje programima koji treba da obuhvate širok raspon budućeg profesionalnog života studenata tako da ovi programi podrazumevaju inpute iz društveno-humanističkih i pravno-ekonomskih nauka u ekološko planiranje i inženjerstvo radi obezbeđivanja neophodne ekološke perspektive.

5. ZAKLJUČAK

Debata o održivom razvoju inicirala je i debatu o obrazovnim konceptima koji su potrebni za dostizanje ciljeva održivosti. Ekološko obrazovanje i ekološko obrazovanje za održivost su integrisani u Agendu 21 postavši tako predmet međunardne politike obrazovanja i donošenja odluka. Ovo je rezultovalo novim konceptima obrazovanja, posebno visokoškolskog, koji se ogledaju u procesima učenja koji se zasnivaju na principim održivosti i u direktnoj su vezi sa ciljevima osnaživanja i kritičkog razmišljanja (UNESCO, 2012). Iako postoje različite metodološke, pa i filozofske perspektive koje se odnose na ekološko obrazovanje za održivost, može se zaključiti da postoji konsenzus o noramtivima koji se odnose na koncept ovog obrazovanja i njegovu orijentaciju ka akcijama za održivost. Iz ovih razloga kvalitet ovog obrazovanja se odnosi na razvoj adekvatne pedagogije, kompetencija, dostizanje ciljeva zajednice i partnerstva, odnoseći se i na one koji uče/studente i one koji predaju/nastavnike. Tako, visokoškolsko ekološko obrazovanje za održivost se: sastoji od predmeta i programa koji sadrže proširenu i poboljšanu literaturu iz oblasti ekološke održivosti; integriše koncept održivosti u sve predmete i istraživanja; akcentuje potrebu za „obnavljanjem“ kurikuluma, novim metoda učenja i reorijentacijom procesa predavanja.

LITERATURA

[1] Agenda 21. (1992). Preuzeto sa https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf.

[2] Arcaro, J. S. (2002). Quality in Education: An Implementation Handbook. Florida: St. Lucie Press.

[3] Association of University Leaders for Sustainable Future. (1990). The Talloires Declaration, 10 Point Action Plan. Pristupljeno sa http://ulsf.org/wp-content/uploads/2015/06/TD.pdf.

[4] Bowden, J. & Marton, F. (1998). The University of Learning - beyond Quality and Competence in Higher Education, first edition. London: Kogan Page.

[5] Costanza, R. & Patten, B. C. (1995). Defining and predicting sustainability. Ecological economics, 15(3), 193-196.

[6] Costanza, R. (Ed.). (1991). Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability. New York, NY: Columbia University Press.

[7] Crosby, P. B. (1979). Quality Is Free. New York: McGraw-Hill.

[8] Deming, W. E. (1986). Out of Crisis. Cambridge: Cambridge University Press.

[9] Dilshad, R. M. (2010). Assessing Quality of Teacher Education: A Student Perspective. Pakistan Journal of Social Sciences, 30(1), 85-97.

[10] Dudek-Burlikowska, M. (2006). Quality research methods as a factor of improvement of preproduction sphere. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 18, 435-438.

[11] Fincher, C. (1994). Quality and diversity the mystique of process. In Fincher, C. (Ed.) Defining and Assessing Quality, 84-94. Athens: Institute of Higher Education, University of Georgia.

[12] Franz, L.S., Foster, S.T., "Utilizing a knowledge based decision support system as total quality management consultant", International Journal of Production Research, 30(9) (1992) 2159-2171.

[13] Gomišček, B., Maletič, D., & Maletič, M. (2016). TQM Sustainability-oriented Innovation Practices and their Contribution to Organizational Performance.

[14] Green, D. (1994). What is quality in higher education? Concepts, policy and practice. In Green, D. (Ed.) What Is Quality in Higher Education? 3-30. Buckingham: Open University Press and Society for Research into Higher Education.

[15] Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockstrom, J., Ohman, M. C., Shyamsundar, P., Stffen, W., Glaser, G., Kanie, N., & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. Nature, 495, 305-307.

[16] Harvey, L. (1995). Editorial: The quality agenda. Quality in Higher Education, 1, 1, 5-12

[17] Hawthorne, M. & Alabaster, T. (1999). Citizen 2000: Development of a model of environmental citizenship. Global Environmental Change, 9, 25-43.

[18] Ittner, C., Larcker, F.D., "Total quality management and choice of information and reward systems", Journal of Accounting Research, 33 (1995) 1-34.

[19] IUCN, U. & WWF. (1991). Caring for the Earth: a strategy for sustainable living. Gland: IUCN, UNEP, WWF.

[20] IUCN-UNEP-WWF. (1980). World Conservation Strategy. Preuzeto sa https://portals.iucn.org/library/efiles/edocs/WCS-004.pdf.

[21] Juran, J. M. & Gryna, F. M. (1980). Quality Planning and Analysis. New York: McGraw-Hill.

[22] Lazić, M. (2007, May). Sistem kvaliteta-QMS u visokom obrazovanju. In Nacionalna konferencija o kvalitetu (XXXIV), Agencija za kvalitet i standardizaciju Srbije, Selekcija A-1 (pp. 1-6).

[23] Levett, R. (1998). Sustainability indicators - integrating quality of life and environmental protection. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society), 161(3), 291-302.

[24] Lisiecka, K. (2001). The assurance of the quality of education at the university. Katowice: Economy University.

[25] Maletič, M., Maletič, D., Dahlgaard, J. J., Dahlgaard-Park, S. M., & Gomišček, B. (2014). Sustainability exploration and sustainability exploitation: From a literature review towards a conceptual framework. Journal of Cleaner Production, 79, 182-194.

[26] McCormick, K., Muhlhauser, E., Norden, B., Hansson, L., Foung, C., Arnfalk, P., Karlsson, M., & Pigretti, D. (2005). Education for sustainable development and the Young Masters Program. Journal of Cleaner Production, 13(10-11), 1107-1112.

[27] Meerah, T. S. M., Halim, L., & Nadeson, T. (2010). Environmental citizenship: What level of knowledge, attitude, skill and participation the students own?. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2(2), 5715-5719.

[28] Network, E. (2012). Key data on education in Europe 2012. Education, Brussels: Audiovisual and Culture Executive Agency-European Commission. Preuzeto sa http://eacea. ec. europa. eu/education/eurydice/documents/key_data_series/134EN. pdf.

[29] NIER. (2004). Educational Innovation for Sustainable Development, Final Report of a Regional Seminar 27 July - 3 August 2004. NIER/UNESCO-APEID.

[30] Pearce, D. W., Atkinson, G. D. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. Ecological economics, 8(1993), 103-108.

[31] Petrovic, N., Jeremic, V., Petrovic, D., & Cirovic, M. (2014). Modeling the Use of Facebook in Environmental Higher Education. In G. Mallia (Ed.), The Social Classroom: Integrating Social Network Use in Education (pp. 100-119). Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-4666-4904-0.ch006.

[32] Petrović, D. S., & Jokić, T. (Eds.) (2016). Interkulturalno obrazovanje u Srbiji - Regulativni okvir, stanje i mogućnosti za razvoj. Beograd: Centar za obrazovne politike.

[33] Pezzey, J. (1989). Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development, Environment Department Working Paper No. 15. Washington, DC: The World Bank.

[34] Roome, N. & Cahill, E. (2001). Sustainable Production: Challenges and objectives for EU research Policy. Brussels: Report of the Expert Group on Competitive and sustainable production and related Service Industries in Europe in the period to 2020.

[35] Sachs, J. D. (2015). The age of sustainable development. New York City: Columbia University Press.

[36] Skrzypek, E. (2001). The quality of the education process at the university. Quality Problems, 10, 13-22.

[37] Skrzypek, E. (2006). Quality in education – the conditions and factors of the success. Quality Problems, 2, 15-20.

[38] Smyth, J. (2004). Environment and education: A view of a changing scene. Environmental Education Research, 12(4), 247-264.

[39] Srikanthan, G., & Dalrymple, J. F. (2002). Developing a holistic model for quality in higher education. Quality in Higher Education, 8(3), 215-224.

[40] Sterling, S. (1990). Environment, development and education: towards a holistic view. In: C. Lacey & R. Williams (Eds) Deception, Demonstration, Debate: towards a critical education & development education, pp. 119-132, London: WWF and Kogan Paul.

[41] Tilbury, D. (1995). Environmental education for sustainability: Defining the new focus of environmental education in the 1990s. Environmental education research, 1(2), 195-212.

[42] UNCED. (1992). Promoting Education and Public Awareness and Training. UNCED Agenda 21 (Vol. Chapter 36). Conches: United Nations Conference on Environment and Development.

[43] UNESCO - Division of Science, Technical and Environmental Education. (1986). The Balance of Lifekind: An Introduction to the Notion of Human Environment. Preuzeto sa http://www.unesco.org/education/pdf/333_3.pdf.

[44] UNESCO. (2000). World education forum: Dakar framework for action 2000. Paris: UNESCO.

[45] UNESCO. (2009). Review of Contexts and Structures for ESD. Preuzeto sa http://www.unesco.org/education/justpublished_desd2009.pdf.

[46] UNESCO. (2012). ESD Sourcebook. Learning & Training Tools, No. 4. Paris: UNESCO. Preuzeto sa http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216383e.pdf.

[47] UNESCO-UNEP. (1978). Recommendations of the Intergovernmental Conference on Environmental Education Tbilisi, USSR. France: UNESCO Paris.

[48] UNITED NATIONS - UN. (2017) What is sustainability? Pristupljeno sa http://www.un.org/en/sustainablefuture/sustainability.shtml.

[49] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. (2017). Sustainability. Pristupljeno sa http://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what.

[50] Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. Geoforum, 42(3), 342-348.

[51] Wang, C.H., Chen, K.Y. and S.C. Chen, "Total quality management, market orientation and hotel performance: The moderating effects of external environmental factors", International Journal of Hospitality Management, 31(1), (2012) 119-129.

[52] World Commission on Environment and Development - WCED. (1987). Our Common Future, Oxford: Oxford University Press.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ULOGA MLADIH U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE I ODRŽIVOSTI LOKALNE ZAJEDNICE

THE ROLE OF YOUTH IN LOCAL COMMUNITY ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABILITY

TATJANA BOROJEVIĆ[1], MATJAŽ MALETIČ[2], KRISTINA STANOJEVIĆ[3], ALEKSANDAR ĐOKOVIĆ[4], JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ[5], NEMANJA MILENKOVIĆ[6]

[1] Univerzitet u Mariboru-Fakultet organizacionih nauka, Slovenija, tatjana.borojevic@panacea.rs
[2] Univerzitet u Mariboru-Fakultet organizacionih nauka, Slovenija, matjaz.maletic@fov.uni-mb.si
[3] Univerzitet u Beogradu- Fakultet organizacionih nauka, Srbija, kristina.stanojevic@fon.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, Srbija, aleksandar.djokovic@fon.bg.ac.rs
[5] Univerzitet u Beogradu- Fakultet organizacionih nauka, Srbija, jelena.radakovic@fon.bg.ac.rs
[6] Univerzitet u Beogradu-Fakultet organizacionih nauka, Srbija, nemanja.milenkovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Briga za sadašnju i buduću održivost uključuje mlade kao njene neophodne nosioce, imajući u vidu da njihovo učešće obezbeđuje neophodan proces donošenja odluka koje se odnose na ovaj važan problem. Istraživanje prikazano u ovom radu se bavi stavovima i mišljenjima mladih o njihovoj ulozi u zaštiti životne sredine i održivosti njihove lokalne zajednice (mladi opštine Sremska Mitrovica, Srbija). Rezultati su analizirani korišćenjem SPSS 24 softverskog paketa. Na osnovu dobijenih rezultata, zaključeno je da su mladi svesni glavnih ekoloških problema svoje zajednice, ali da se ne osećaju dovoljno informisanim i uključenim u proces njihovog rešavanja. Takođe, mladi veruju da ne postoje odgovarajući institucioni okviri koji bi im omogućili da efektivno učestvuju u aktivnostima koje se odnose na zaštitu životne sredine i održivi razvoj njihove lokalne zajednice.*

Ključne reči: *Mladi, Lokalna zajednica, Zaštita životne sredine, Održivost, Održivi razvoj.*

Abstract: *The concern for present and future sustainability includes the youth as its necessary carriers because youth participation provides the decision-making process in this important issue. The research presented in this paper deals with young people's attitudes and opinions regarding their role in their local community environmental protection and sustainability (youth from the municipality of Sremska Mitrovica, Serbia). An analysis of the results was carried out using the SPSS 24 software package. Based on the obtained results we concluded that young people are well aware of the major environmental problems of their community, but that they do not feel sufficiently informed and involved in the resolving process of these issues. Also, young people believe that there are no appropriate institutional frameworks that would enable them to effectively engage in activities related to the environmental protection and sustainable development of their local community.*

Keywords: *Youth, Local community, Environmental protection, Sustainability, Sustainable development.*

1. UVOD

> *Mladi ljudi su temelj efektivnog razvoja, i ako su angažovani, doprineće unapređenju mnogih izazova održivog razvoja sa kojima se suočavamo danas, kao što su: poboljšanje kohezivnosti porodice i zajednice, smanjenje zdravstvenih rizika i poboljšanje životnog standarda. Oni su most koji povezuje efikasne politike održivosti i neophodne akcije za njihovo dostizanje. (DFID, 2010)*

Današnje društvo, sve zajednice i pojedinci se nažalost kontinirano susreću sa mnogobrojnim ekološkim problemima, kontradiktornostima, rizicima i nesigurnostima vezanim sa dalji globalni održivi razvoj, pri čemu jedini mogući način za njihovo rešavanje se ogleda u odgovarajućim merama za zaštitu životne sredine i razvoj globalne održivosti. Sa druge strane, uloga mladih mora da bude jedan od glavnih pristupa, ali i principa u ekološki razumnom i održivom razvoju lokalnih zajednica. Razlog ovome je činjenica da je

participacija mladih u rešavanju problema lokalne zajednice važna ne samo za njihov razvoj, već i za bolji kvalitet funkcionisanja samog društva (Borojević, Petrović, & Vuk, 2015). Bitno je napomenuti da mladi ljudi predstavljaju sadašnjost i budućnost svakog drušva, kao i izvor inovacija i pokretačku snagu razvoja (Nacionalna strategija za mlade – za period od 2015. do 2025. godine, 2015). U Srbiji se pod kategorijom mladih smatraju oni koji su od 15 godina do 30 godina starosti (Borojević, Vuk, Petrović, Slović, 2015), a njihov ukupan broj je oko milion i po, što u odnosu na ukupan broj stanovnika čini dvadeset procenata (Nacionalna strategija za mlade – za period od 2015. do 2025. godine, 2015.; Borojević, Petrović, & Vuk, 2015).

Neophodna uloga mladih se ogleda i u njihovom učešću u održivim zajednicama, te radi toga i u zaštiti životne sredine i dostizanju ciljeva održivog razvoja datih u Agendi 21 (UNSD, 1992; UNECE, 1998), sa akcentom na otvorenosti, participativnosti i demokratiji (Chavis & Wandersman, 1990; UNCHS, 1996; Beatley, 1998; Innes & Booher, 2001; Conroy & Berke, 2004; Granvik, 2005; Roseland, 2005; Berg, 2009). Imajući ovo u vidu autori su u radu prikazali rezultate istraživanja koje se odnosi na ispitivanje mišljenja mladih iz opštine Sremska Mitrovica o stanju životne sredine i najvećim ekološkim problemima njihove lokalne zajednice, kao i njihove stavove o mogućnostima njihovog aktivnog uključivanja u dalji održivi razvoj njihove sredine.

2. METODOLOGIJA

Polaznu osnovu istraživanja autora rada predstavljala je činjenica koja se odnosi na važnost aktivizma mladih u zaštiti životne sredine i održivog razvoja lokalnih zajednica imajući na umu da ne postoji dovoljno podataka i istraživanja na temu uloge mladih u ovim problemima koji su od krucijalnog značaja za Srbiju (Borojevic, Petrovic, & Vuk, 2014; Borojević, Petrović, & Vuk, 2015; Borojević, Vuk, Petrović, & Slović, 2015; Borojević et al., 2017).

Radi potreba istraživanja, kreiran je upitnik namenjen mladima opštine Sremska Mitrovica. Upitnik se sastojao od ukupno 29 pitanja. Prva četiri pitanja su bila opšteg karaktera i odnosila su se na osnovne demografske podatke. Od petog pitanja do dvadesetidevetog pitanja, mladi su davali odgovore koji se odnose na njihove stavove o: stanju životne sredine, radu nadležnih organa za zaštitu životne sredine, mogućnostima njihove participacije u zaštiti životne sredine, kao i budućem ekološkom i održivom razvoju njihove zajednice.

U radu je korišćen statistički softverski paket SPSS 24. Kako bi se analizirale karakteristike uzorka korišćena je deskriptivna statistika. Veza između kategoričkih varijabli je ispitana *Chi-Square* testom. Vrednost p je korišćena kao indikator statistički značajne razlike između određenih grupa ($p<0.05$).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Istraživanje je obuhvatilo 58 mladih iz opštine Sremska Mitrovica. Na osnovu dobijenih podataka, ispitanici su podeljeni na sledeće grupe:

- Struktura po polu:
  - 33 ispitanika ženskog pola (56.9%).
  - 35 ispitanika muškog pola (43.1%).
- Godine ispitanika:
  - Od 15 do 19 godina – 19 ispitanika (32.7%).
  - Od 19 do 25 godina – 23 ispitanika (39.7%).
  - Od 25 do 30 godina – 16 ispitanika (27.6%).
- Nivo obrazovanja:
  - Završena osnovna škola – 0 ispitanika (0%).
  - Završena srednja škola – 28 ispitanika (48.3%).
  - Završen fakultet – 25 ispitanika (43.1%).
  - Završene postdiplomske (master) studije – 5 ispitanika (8.6%).

Analizom dobijenih odgovora dobijeni su sledeći obećavajući rezultati:

- 58.62% mladih ima pozitivan stav po pitanju uključivanja u neki od budućih projekata koji bi se odnosio na unapređivanje zaštite životne sredine opštine Sremska Mitrovica.
- Čak 82.8% mladih oseća direktnu potrebu za većim direktnim učešćem građana u donošenja odluka o pitanjima životne sredine i daljeg razvoja održivosti opštine Sremska Mitrovica.
- Polovina ispitanika (50%) bi bila spremna da se dobrovoljno uključi u rad na rešavanju ekoloških i drugih problema Sremske Mitrovice.

Nažalost, ono što zabrinjava pored ovih odličnih rezultata je da:

- Najveći deo ispitanika odnosno čak 77.6% smatra da mladi nisu dovoljno uključeni u pitanja vezana za zaštitu životne sredine.
- 72.4% ispitanika ne zna ili smatra da ne postoji osoba ili služba koja se bavi zaštitom životne sredine u njihovoj lokalnoj sredini.
- Samo15.5% ispitanih mladih smatra da su odgovarajuće motivisani, te stoga i spremi da se uključe u ekološke akcije.
- Sadašnje stanje kvaliteta života na teritoriji opšitne Sremska Mitrovica smatra lošim - 9.4% ispitanika i nezadovoljavajućim - 26.6%, preciznije više od trećine odnosno ukupno 36% ispitanika.
- 31% ispitanika smatra da će stanje životne sredine Sremske Mitrovice da se pogorša u narednih 5 godina.

Značajan deo istraživanja se odnosio i na istraživanje načina informisanja i nivoa zadovoljstva koji se odnosi na informacije od značaja za ekološke probleme i zaštitu životne sredine opštine Sremska Mitrovica. Dobijeni su sledeći rezultati:

- Više od polovine ispitanika do informacija dolazi putem televizije - 58.62%.
- Zabrinjava da je nezadovoljstvo nivoom informisanosti o stanju životne sredine iskazalo čak 69% ispitanika, dok je svega 17.2% ispitanika zadovoljno.
- Takođe 69% ispitanika smatra da je potrebno unapređenje i dodatno informisanje o stanju životne sredine.

Kada su pitanju ekološki problemi koji se odnose na opštinu Sremska Mitrovica, mladi kao prvih pet najznačajnijih izdvajaju sledeće probleme:

1. Nedostatak biciklističke staze (32.75%).
2. Loše upravljanje otpadom (31.03%).
3. Loše planiranje urbanog razvoja/divlja gradnja (31.03%).
4. Nedostatak zelenih površina (27.59).
5. kvalitet vazduha/aero zagađenje (25.86%).

Svi glavni ekološki problemi opštine Sremska Mitrovica koje su izdvojili ispitanici prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1: Glavni ekološki problemi opštine Sremska Mitrovica

Glavni problemi opštine Sremska Mitrovica	Frekvencije	Procenti po ispitanicima (%)	Procenti po ukupnim odgovorima (%)	RANG
Nedostatak biciklističke staze	19	32.76	8.6	1
Loše upravljanje otpadom	18	31.03	8.14	2
Loše planiranje urbanog razvoja/divlja gradnja	18	31.03	8.14	2
Nedostatak zelenih površina	16	27.59	7.24	4
Kvalitet vazduha/aero zagađenje	15	25.86	6.79	5
Nedovoljno uključivanje javnosti u proces odlučivanja	14	24.14	6.33	6
Zaštita prirodnih dobara	13	22.41	5.88	7
Divlje deponije	13	22.41	5.88	7
Nedostatak pešačkih staza	12	20.69	5.43	9
Slab protok informacija od nadležnih na gradskom nivou ka opštini i građanima o stanju životne sredine	12	20.69	5.43	9
Stanje postojećih objekata za rekreaciju	12	20.69	5.43	9
Nedostatak parkinga	11	18.97	4.98	12
Kanalizacione otpadne vode	9	15.52	4.07	13
Neuređenost obale	9	15.52	4.07	13
Nepostojanje nadležnosti na lokalnom nivou u oblasti životne sredine	8	13.79	3.62	15
Kvalitet površinskih voda, vode za piće iz mitrovačkog vodovoda, vode sa javnih česmi	8	13.79	3.62	15

Opasan otpad (medicinski, elektronski...)	6	10.34	2.71	17
Društveno neodgovorno poslovanje biznis sektora	5	8.62	2.26	18
Buka	3	5.17	1.36	19

Glavni zagađivači opštine Sremska Mitrovica prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2: Glavni zagađivači opštine Sremska Mitrovica

Glavni zagađivači opštine Sremska Mitrovica	Frekvencije	Procenti po ispitanicima (%)	Procenti po ukupnim odgovorima (%)	RANG
Saobraćaj	33	56.9	27.5	1
Komunalni otpad	32	55.17	26.67	2
Kanalizacija	27	46.55	22.5	3
Mala privreda	13	22.41	10.83	4
Kotlarnice	11	18.97	9.17	5
Zanatstvo	4	6.9	3.33	6

Kada su u pitanju rezultati koji se odnose na održivi razvoj i strategiju održivog razvoja opštine Sremska Mitrovica, rezultati su pokazali da:

- čak 81% ispitanika smatra da je opštini Sremska Mitrovica potrebna strategija održivog razvoja.

Daljom analizom dobijeni su sledeći rezultati:

- Zavisnost odgovora od pola ispitanika postoji kod pitanja: „Da li je opštini Sremska Mitrovica potrebna strategija održivog razvoja?“ (p=0.027). Kako 90.9% žena a 68% muškaraca smatra da je strategija potrebna, može se zaključiti da potrebu postojanja strategije održivog razvoja više uviđaju žene od muškaraca.
- Usklađenost sadašnjeg razvoja opštine i potreba mladih zavisi od starosne kategorije kojoj mladi pripadaju (p=0.048).
- Zavisnost se javlja i kod spremnosti na dobrovoljno uključivanje u rad na rešavanju nekih ekoloških problema i starosne kategorije mladih (p=0.001), očekivanim stanjem životne sredine za narednih pet godina (p=0.043), kao i potrebe za većim direktnim učešćem građana u donošenje odluka o životnoj sredini (p=0.002). Može se zaključiti da su starije grupe mladih sklonije dobrovoljnom uključivanju u rad na rešavanju ekoloških problema.

5. ZAKLJUČAK

Jedan od nacionalnih prioriteta svake zemlje predstavlja zaštita životne sredine sa ciljem ostvarivanja ekološke održivosti i postizanja ciljeva održivog razvoja. Dalje, mladi ne mogu samo da budu informisani (i to nedovoljno) o stanju životne sredine, održivosti, održivom razvoju i njegovim ciljevima. Iz ovih razloga, participacija mladih ne predstavlja samo razvoj aktivnih građana i razvoj demokratije za budućnost. Ona mora da predstavlja uticajno donošenje odluka i učestvovanje u akcijama od strane mladih i to dok su još u godinama ove starosne kategorije, a ne kasnije tokom njihovih života.

Rezultati prezentovani u radu su pokazali da mladi osećaju potrebu da budu više angažovani u rešavanju problema koji se odnose na zaštitu životne sredine i održivi razvoj njihove lokalne zajednice, te stoga ako im se omogući pomoć i pruži odgovarajuća motivacija i ohrabrenje, posledično će se doprineti integraciji mlade generacije. „Podržavajući i podstičući participaciju mladih, doprinosi se integraciji mladih u društvo, pomažući im da se suočavaju ne samo sa izazovima i pritiscima mladosti, već i sa celokupnom problematikom savremenog društva, u ovom slučaju onog čiji jedini način budućeg razvoja mora da bude u skladu sa principima i strategijama održivosti i održivog razvoja” (Borojević, Petrović, & Vuk, 2015).

LITERATURA

[1] Beatley, T. (1998). The Vision of Sustainable Community. Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities. USA: Joseph Henry Press.

[2] Berg, P.G. (2009). Timeless City land - Building the sustainable human habitat. Uppsala.

[3] Borojević, T., Petrović, N., & Vuk, D. (2015). Aktivizam mladih i zaštita životne sredine. Zbornik radova simpozijuma SYM-OP-IS 2015: XLII Simpozijum o operacionim istraživanjima. Srebrno jezero.

[4] Borojevic, T., Petrovic, N.B., & Vuk, D. (2014). Youth and Environmental Education for Sustainable Development. IJSR.NET. 3(9), 57-62.

[5] Borojević, T., Vuk, D., Petrović, N., & Slović, D. (2015). The level of youth activism: Case study of the city of Belgrade. Management. 76, 23-30.

[6] Borojević, T., Maletič, M., Petrović, N., Radaković, J.A., Senegačnik, M., & Maletič, D. (2017). Youth Attitudes towards Goals of a New Sustainable Development Agenda Postawy młodzieży wobec celów Nowej Agendy na rzecz zrównoważonego rozwoju. PROBLEMY EKOROZWOJU, 12(2), 161-172.

[7] Chavis, D.M., & Wandersman, A. (1990). Sense of Community in the Urban Environment: A Catalyst for Participation and Community Development. American Journal of Community Psychology. 18(1), 55-81.

[8] DFID. (2010). Youth Participation in Development. Surry Hills: A Guide for Development Agencies and Policy Makers, DFID-CSO Youth Working Group.

[9] Granvik, M. (2005). Implementation of the Habitat-agenda in local communities: Late modern living conditions and residents' interest, time for and real action in citizen participation, in a Swedish and Russian context. Uppsala.

[10] Innes, J.E., & Booher, D.E. (2001). Indicators for Sustainable Communities: A Strategy Building on Complexity Theory and Distributed Intelligence. Planning Theory & Practice, 1(2), 173-186.

[11] Nacionalna strategija za mlade – za period od 2015. do 2025. godine (2015). http://www.mos.gov.rs/mladisuzakon/attachments/article/389/nacionalna_strategija_za_mlade0101_cyr.pdf.

[12] Roseland. M. (2000). Sustainable community development: integrating environmental. economic. and social objectives. Program Planning, 54(2), 73-132.

[13] United Nations Centre for Human Settlements – UNCHS. (1996). Sustainable Human Settlements Development in an Urbanizing World. The Habitat Agenda and the Istanbul Declaration, Section IVC, New York.

[14] United Nations Economic Commission for Europe – UNECE. (1998). Aarhus convention: Convention on access to information, public participation in decision-making and access to justice in environmental matters. Pristupljeno sa http://www.unece.org/env/pp/treatytext.html.

[15] United Nations Sustainable Development – UNSD. (1992). Agenda 21, United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janerio, Brazil, 3 to 14 June 1992. Pristupljeno sa http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf.

2017

PRIMENE OI U FINANSIJAMA I BANKARSTVU

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

КОНЦЕНТРАЦИЈА И КОНКУРЕНЦИЈА У БАНКОВНОМ СЕКТОРУ СРБИЈЕ

CONCENTRATION AND COMPETITION IN SERBIAN BANKING SECTOR

РАЈКО М. БУКВИЋ

Географски институт „Јован Цвијић" САНУ, Београд, Србија
Нижегородски државни инжењерско-економски универзитет, Књагињино, Русија
e-mail: r.bukvic@mail.ru

Резиме. *У чланку се анализирају степен концентрације и конкуренција у банковном сектору у Србији, на основу финансијских извештаја банака за 2016. годину. Коришћени су како традиционални показатељи концентрације (CRn и HH индекси), тако и релативно мало коришћени индекси Линда. Степен концентрације провераван је на основу три величине: укупни активи, капитал и оперативни приходи банака. Показано је да је међу релативно великим бројем банака у Србији постојећи степен концентрације низак, што ствара услове за развој здраве конкуренције међу њима.*

Кључне речи. *Концентрација, конкуренција, банковни сектор, Србија, индекси Линда*

Abstract. *The paper analyzes the degree of concentration and competition in Serbian banking sector on the basis of bank financial statements for year 2016. It uses the traditional concentration indicators (CRn and HH indices), as well as the relatively rarely used Linda indices. The concentration degree is calculated based on three variables: total assets, capital and bank operating income. It was demonstrated that in the case of the relatively large number of banks in Serbia, the existing concentration degree is low, which provides suitable conditions for the development of healthy competition among them.*

Keywords. *Concentration, competition, banking sector, Serbia, indices Linda*

1. УВОД

У последњих неколико деценија снажно је порасло интересовање за сагледавање и анализу развоја конкуренције не само у тзв. реалном сектору економије. Међу тим другим гранама, инфраструктурним у оквирима економије како појединачних земаља, тако и на нивоу светске економије, посебно интересовање изазива банковни сектор. Његов значај порастао је не само у бившим земљама социјалистичког света, што је повезано с огромним увећањем улоге тржишта и последично дерегулисањем и у том и у другим секторима, већ и у развијеним земљама, где су се такође одигравали процеси дерегулације и либерализације, праћени процесима интеграција (спајања и припајања) банака. У савременој економској теорији се сматра да је за стварање ефикасног тржишног система неопходан услов обезбеђење конкурентске средине у свим сегментима економије, и посебно у банковном сектору. Конкуренција у банковном сектору један је од облика тржишне конкуренције. Она је настала касније него конкуренција у индустрији, али се одликује високом интензивношћу и великом разноврсношћу форми и метода. Основне карактеристике банковне конкуренције детаљно су дате у [4: 76–100].

Банковни сектор у Србији после промена у 2000. години такође је претрпео значајне промене. Бивше најкрупније банке престале су да постоје и раде (ликвидиране су), на тржиште су ступиле неке иностране банке, било је неколико аквизиција итд. Сада је на тржишту 30 банака, при чему ни једна од њих нема удео који би значајно превазилазио уделе других. За мале земље, каква је Србија, то је доста велики број, и он опредељује добре могућности за развој конкуренције. Улазак страних банака и процеси дерегулације и либерализације, наравно, заоштрили су конкуренцију на банковном тржишту. Ипак, чини се, озбиљних и доследних анализа конкуренције на том тржишту нема. Конкуренција у том сектору није изазивала истраживаче ни у протеклим временима, иако је Србија (Југославија), за разлику од других социјалистичких земаља имала доста развијене тржишне односе,

бар у реалном сектору. Тако, у најопширнијој и најобухватијој монографији [1] конкуренција у том сектору није разматрана.

2. МЕТОДОЛОШКА ОБЈАШЊЕЊА

Конкуренција уопште, а посебно у банковном сектору, сложен је и тешко мерљив процес, за који не постоји општеприхваћени или најбољи индикатор. Стога су и разрађени различити приступи оцени њеног нивоа. Они се деле на директне и посредне. Први се заснивају на мери тржишне власти (моћи) као извору тржишног додатка на цену. Директно оцењивање претпоставља податке о ценама банковних услуга и њиховим граничним трошковима, што често недостаје. Тада се користи псоредно оцењивање, које може бити структурно и неструктурно. Прво полази од парадигме „структура – понашање – резултат" и предлаже да се конкуренција мери степеном концентрације тржишта. Неструктурно негира корелацију концентрације и конкуренције, посебно у системима с ниским трошковима уласка и изласка (контестибилна тржишта, вид. [7]). У оквиру овог приступа већи број модела испитује односе перформанси банака у зависности од разних егзогених фактора (модели Панзара-Роса, Буна и др.).

Иако не сматрамо да се конкуренција идентификује с концентрацијом, наш приступ формално се може убројати у структурне. Пошто је ово истраживање први корак у сагледавању конкуренције у банковном сектору, ми се ипак не опредељујемо за тај приступ. Уосталом, и у неструктурном приступу имају место коефицијенти концентрације.

Пре одговарајуће емпиријске анализе треба решити једно претходно питање. Реч је о томе, какве величине које се односе на банке треба користити. Ако је у случају индустрије, као и других грана реалног сектора, то питање више или мање решено, овде, у банковном сектору, ситуација је другачија: не могу се користити величине као што су обим продукције, или приход од продаје производа. Стога су нужни други показатељи. Међу њима могу бити, рецимо, привлачење депозита [9], активи и депозити [8], активи, кредити и депозити [13], депозити и кредитирање физичких и правних лица [5], исти и активи [6], исти и капитал [14], актива, капитал, пласмани, депозити, приходи од камата и нето добитка (губитка) пре опорезивања [15]. Ми смо изабрали четири показатеља: оперативни приходи, укупна актива, капитал и депозити. Избор је био условљен не само теоријским разлозима, већ и доступним изворима: финансијским извештајима банака, из базе Народне банке Србије. Ми смо се ограничили на 2016. годину

Друго методолошко питање односи се на избор самих показатеља (индекса) концентрације. Између многих показатеља, истраживачи, пре свега, такође и практична антимонополска политика, користили су два: коефицијенте концентрације CRn (удео n најкрупнијих предузећа на одговарајућем тржишту, где се за n изабирало најчешће 4) и HH индекс (индекс Херфиндала-Хиршмана, сума квадрата свих удела на тржишту). Оба индекса заснивају се на појединачним уделима предузећа на тржишту

$$s_i = \frac{Q_i}{Q} \qquad (1)$$

где је: Qi = обим продукције предузећа i, Q = укупна продукција у грани. Наравно, уместо обима продукције могу се користити и друге величине, как што се често и дешава, на пример приход, или актива предузећа и др., и одређени су на следећи начин:

$$CRn = s_1 + s_2 + \cdots + s_n = \sum_{i=1}^{n} s_i \qquad (2)$$

$$I_{HH} = \sum_{i=1}^{n} (s_i)^2 \qquad (3)$$

Наведене индексе користићемо и ми. Али, за разлику од поменутог рада [13], где су били израчунати и коришћени индекси CR4 и CR8, ми ћемо израчунати и користити и индексе CR3. Сматрамо, и показало се, да је индекс CR8 за Србију сувише велики, и да нема посебан значај, нарочито, с аспекта нашег рада.

Предности и недостаци тих показатеља у литератури су добро описани, вид. на пример [3]. У нашим обрачунима одредили смо оба та показатеља, донекле промењена. Поред тога, узимајући у обзир њихове недостатке, ми смо изабрали још један индекс, у српској литератури до сада некоришћен, али који је такође и у другим земљама, посебно у земљама с прелазном (или транзиционом) економијом ретко коришћен. Један од примера његовог коришћења [5] односи се управо на банковни сектор (у Русији). Тај индекс (тачније, систем индекса) израчунава се по следећој општој формули, која се наравно за свако m развија у посебну формулу:

$$FL_m = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^{m} i \cdot \frac{m-i}{i} \cdot \frac{CRi}{CRm - CRi} \qquad (4)$$

Овај индекс конструисао је сарадник Комисије ЕУ Ремо Линда [12]. Као и индекс CRn, израчунава се само за неколико (m) најкрупнијих предузећа и, према томе, такође се бави „језгром" а не и „периферијом" тржишта. Ипак, за разлику од индекса CRn индекс Линда оријентисан је управо на разматрање разлика у „језгру" тржишта. Ми смо већ показали предности примене индекса Линда [2], мада је тај наш рад био првенствено илустративан. Израчунавања овог индекса врше се наизменично, и доста су тешка. Наравно, употреба компјутера последњу примедбу чини беззначајном.

У [13], [14] и [15] индекс Линда није коришћен, али јесу CRn, HH и други: индекс реципрочности, индекс Хорвата (CCI), мера ентропије и Ђинијев коефицијент, који за наш рад, сем индекса CRn, немају значај.

3. КОНЦЕНТРАЦИЈА И КОНКУРЕНЦИЈА У БАНКОВНОМ СЕКТОРУ СРБИЈЕ

За разлику од неких емпиријских истраживања која деле банковни сектор на мале, средње и крупне банке, вид. на пример [10], ми ћемо разматрати цео сектор као један скуп. Јасно, то не значи да претпостављамо такав приступ. Главни разлог нашег избора довољно је јасан: без обзира на релативно велики број банака, одговарајуће тржиште у Србији је мало, и то по свим релевантним показатељима: укупна актива банака на дан 31. 12. 2016. износили су 3.241.505 милиона динара, цео капитал био је једнак 632.486 милиона динара (уз валутни курс 1 евро = 123,4723 динара). Стога, за циљеве овог рада не сматрамо сврсисходнмм његову поделу по било ком критеријуму.

Табела 1. Коефицијенти концентрације у банковном сектору Србије у 2016.

Критеријум	CR3	CR4	CR8	HH
Укупна актива	39,6	47,4	69,4	813
Депозити	40,1	47,9	69,7	819
Капитал	38,7	47,4	73,6	882
Оперативни приходи	36,8	44,6	67,9	764

Степен концентрације по традиционалним индексима даје таб. 1. Изабрани су коефицијенти CR3, који се користи у антимонополској пракси многих земаља, и CR4, који се често користио у истраживачким радовима у бившој Југославији, вид. [11], такође и у монографији [1], и CR8. Дати су и индекси Херфиндала-Хиршмана, пошто су аутору били доступни финансијски извештаји за све субјекте, што није увек случај.

Код оба коефицијента, као што је познато, границе између разних степена концентрације постављају се арбитрарно. Тако, у САД се од 1982. за класификације тржишних стања користе индекси HH, раније су границе биле одређене на нивоу 1000 и 1800, а од 2010. оне су 1500 и 2500. Антимонополски орган у Русији користи границе 45% и 70% за CR3 и 1000 и 2000 за HH у одређивању ниско, умерено и високо концентрисаних тржишта. Вредности индекса HH за све варијанте у нашој анализи мање су од 1000, па тржиште треба сврстати у нискоконцентрисано. С

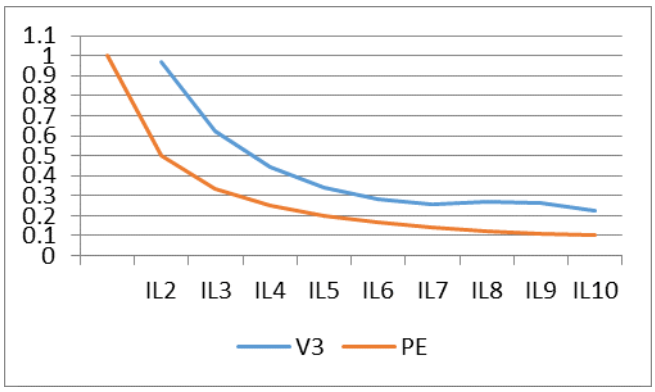
друге стране, по индексу CR3 оно такође припада неконцентрисаним тржиштима, али с индексом CR4 били бисмо дужни да класификујемо тржиште као умерено концентрисано (осим треће варијанте, али и ту се вредност CR4 практично налази на граници неконцентрисаног и умерено концентрисаног тржишта).

Наравно, друге границе могле би као резултат имати и другу класификацију. Управо то је један од главних недостатака примене тих индекса. Стога су, између осталог, и потребни други приступи у изучавању концентрације, и уопште конкуренције. Један од таквих приступа су индекси Линда. За разлику од наведених, индекси Линда намењени су откривању постојања олигополских структура, при чему се ради тога не користе никакее априорно, значи – арбитрарно, успостављене границе. Уместо тога, саме вредности индекса указују постоји ли на датом тржишту олигопол или не. У случају конкурентног тржишта вредности тог индекса стално опадају ($IL_{m+1} > IL_m$ за све m). Ако је таква закономерност нарушена, онда то указује да на датом тржишту постоји олигопол. У нашем случају, на постојање олигопола указује само трећа варијанта, тј. индекси Линда обрачунати на основу вредности капитала (вид. таб. 2). Поред индекса Линда (V1, V2, V3 и V4, за четири величине из таб. 1), дат је и стубац (PE). Он означава тзв. криву перфектног еквилибријума, ситуацију апсолутне једнакости између учесника на тржишту. Удели таквих, савршених конкурената једнаки су међусобно, и изједначују се с величином 1/n (n = број учесника на тржишту).

Табела 2. Индекси Линда за изабране показатеље у банковном сектору Србије у 2016.

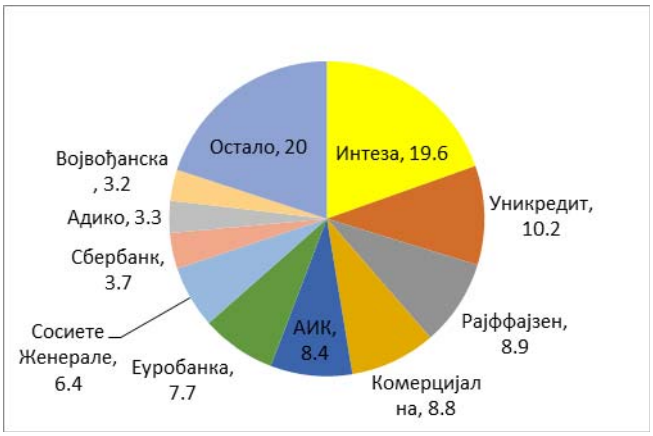
IL	V1	V2	V3	V4	PE
					1
IL2	0,6892	0,6317	0,9668	0,7618	0,5
IL3	0,4897	0,4750	0,6234	0,5078	0,333
IL4	0,4154	0,4132	0,4398	0,4058	0,25
IL5	0,3459	0,3493	0,3405	0,3237	0,2
IL6	0,3174	0,3323	0,2822	0,2943	0,167
IL7	0,2993	0,3025	0,2540	0,2717	0,143
IL8	0,2749	0,2708	0,2665	0,2523	0,125
IL9	0,2535	0,25098	0,2662	0,2309	0,111
IL10	0,2121	0,20947	0,2272	0,1954	0,1

Трећа варијанта указује на олигопол: IL8>IL7. Али, посматрана величина (капитал), као резидуал актива и обавеза, „најнеквалитетнија" је од одабраних, тако да се може с великом вероватноћом рећи да су потврђени резултати добијени помоћу коефицијената CR3, CR4 и HH, тј. да је банковни сектор Србије у 2016. нискоконцентрисан, што је добра основа за развој конкуренције.



Слика 1. Индекси Линда за капитал и крива „перфектног еквилибријума" за банковни сектор, Србија 2016.

Од интереса је и графички приказ индекса Линда (вид. сл. 1). Дати су индекси за капитал, где постоји сумња за олигополску структуру. За разлику од индекса CRn, који је стално растућа величина при укључивању сваког следећег учесника (CR1<CR2<…<CRn) и тиме образује конвексну функцију, индекси Линда чине изломљену криву (сл. 1). Површина између IL и PE означава се као „олигополска арена" и чак и визуелно показује разлику реалног положаја од идеалне конкурентне ситуације.



Слика 2. Удели банака у односу на капитал

Удели банака у односу на капитал приказани су на сл. 2. Они доиста сугеришу да првих седам банака образују олигополску структуру – седма по уделу је за преко 70% већа од наредне. У питању би био, наравно, тзв. лабави олигопол, у коме, по теоријским поставкама, 6–7 фирми учествује на тржишту са 70–80%. У нашем случају тај удео за седам фирми износи 69,9%. Убудуће треба стање на банковном тржишту перманентно пратити, пошто и вредности коефицијената HH па и CR4 показују да је оно близу умерено концентрисаном.

4. ЗАКЉУЧАК

Банковно тржиште у Србији карактерише релативно велики број банака (30). Међу њима нема изразито крупних, према изабранним показатељима (оперативни приходи, укупни активи, депозити и капитал) највећи удео има, у свим варијантама, Банка Интеза (16,4; 19,6; 16,6 и 17,0%, респективно). Индекси концентрациије (CR3, CR4, HH и индекси Линда IL) показују низак степен концентрације, мада и доста близак умереном, и одсуство олигопола, уз коментарисани изузетак. Иако то не означава и постојање праве конкуренције, ипак ти резултати указују на добре перспективе за стварање и развој конкуренције. У основи, могли бисмо сматрати да наши резултати потврђују резултате из [14] и [15], добијене за три квартала 2012, односно [13], за десетогодиште 2003–2012, али ипак уз одређени раст концентрације. При томе, треба имати у виду донекле различит методолошки приступ, који у извесној мери отежава поређење резултата.

Пошто је банковна конкуренција веома сложена, ова анализа треба да буде разматрана као први корак у истраживању концентрације и конкуренције на банковном, и уопште финансијском тржишту

у Србији. Надамо се да ће то бити предмет истраживања и других аутора. У тим, очекиваним, истраживањима, наравно, веома су пожељни и други, нови приступи.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] Беговић, Б.; Р. Буквић, Б. Мијатовић, М. Пауновић, Р. Сепи и Д. Хибер. *Антимонополска политика у СР Југославији – Анализа постојећих тржишних структура и антимонополских институција*, Београд: Центар за либерално-демократске студије, 2002.

[2] Буквич, Р. Исследование рыночных структур: индекс концентрации Линда, *Проблемы теории и практики управления*, (10), (2013), 49–55.

[3] Буквич, Р. *Рынок: конкуренция и монополия*, Княгинино: Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 2015.

[4] Коробова, Г.Г. (ред.) *Банковское дело*, Москва: Экономистъ, 2006.

[5] Коцофана, Т.В. и П.С. Стажкова. Сравнительный анализ применения показателей концентрации на примере банковского сектора РФ, *Вестник Санкт-Петербургского Государственного Университета. Серия Экономика*, (4), (2011), 30–40.

[6] Ракша, А.Д. Конкуренция в банковской сфере, *Банковское дело*, (11), (2010), 25–27.

[7] Baumol, William J. Contestable Markets An Uprising in the Theory of Industry Structure, *The American Economic Review*, 72 (1), (1982), 1–15.

[8] Berger, A.N.; R.S.Demsetz, P.E. Strahan. The consolidation of the financial services industry: Causes, consequences, and implications for the future, *Journal of Banking & Finance*, 23 (02–04), (1999), 135–194.

[9] Berger, A.N. & T.H. Hannan. The Price-Concentration Relationship in Banking, *The Review of Economics and Statistics*, 71 (2), (1989), 291–299.

[10] Bikker, J. A. & K. Haaf. Competition, concentration and their relationship: An empirical analysis of the banking industry, *Journal of Banking & Finance*, 26 (11), (2002), 2191–2214.

[11] Bukvić, R. Istraživanja tržišnih struktura u privredi druge Jugoslavije, *Ekonomika*, 35 (1), (1999), 4–16.

[12] Linda, R. Methodology of concentration analysis applied to the study of industries and markets, Brussels: Commission of the European Communities, 1976.

[13] Ljumović, I.; V. Pavlović, J.M. Cvijanović. Two Aspects of Concentration in Serbian Banking Sector, *Industrija*, 42 (3), (2014), 61–77.

[14] Lončar, D. & V. Rajić. Concentration and Competitiveness of Banking Market in Serbia: Current Situation and Possible Future Changes under the Influence of Market Consolidation, *Ekonomika preduzeća*, 60 (7–8), 2012, 372–385.

[15] Miljković, M.; S. Filipović, S. Tanasković. Market Concentration In The Banking Sector – Evidence From Serbia, *Industrija*, 41 (2), (2013), 7–25

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

TAX-BENEFIT POLICY RESPONSE TO INCOME INEQUALITY TRENDS IN EUROPE DURING THE CRISIS

SAŠA RANĐELOVIĆ

[1] University of Belgrade – Faculty of Economics, randjelovic@ekof.bg.ac.rs

Abstract: *Market income inequality in Europe posted an increase during the recent global economic crisis. Our results indicate that as market income inequality was rising, redistributive effects of government policies in Europe have been enhanced, which is why disposable income inequality remained unchanged. Increase in redistributive effects of government intervention during the crisis is almost fully attached to strengthening of the social benefits scheme, while redistributive effects of income tax have not changed. Results for Serbia are mostly similar – rising market income inequality during the crisis was accompanied by significant improvement of redistributive effects of social benefits, while income tax progressivity remained low.*

Keywords: *inequality, tax, social benefits, economic crisis, Europe*

1. INTRODUCTION

Inequality in Europe is on the rise in the last three decades, due to the effects of globalization, technological progress and deterioration of government redistribution (Dabla-Norris *et al.* 2015). Since the onset of the 2008 World Economic Crisis, which has triggered rise in unemployment in Europe, in some countries the effects being particularly severe at the lower part of income distribution, income inequality is attracting increasing attention, in theoretical and empirical literature, as well in the policy debate (Stiglitz 2012, Piketty 2014, Atkinson, 2015). It is often argued that rising inequality due to limited participation of middle and lower class in the prosperity posted in Europe in the last few decades, has also triggered severe political consequences, such as rise of populism. During the recent crisis, income inequality in Serbia posted salient rise (the largest increase in Europe), thus making the inequality of income distribution in this country the single highest in Europe.

Considering these facts, in terms of trends in income inequality, the question is what were the reactions of the governments in Europe during the crisis? Main instruments of income redistribution by the government are personal income taxes and social benefit programs. The question is whether the increase in market income inequality during the crisis (from 2007 to 2013) has incentivized governments in Europe to increase progressivity of tax-benefit policies and to increase the social benefit spending, particularly in terms of tax-benefit policies? With regards to that, the main aims and contributions of this paper relate to the analysis of income inequality trends in Europe during the recent crisis and the evaluation of the change in the size of income redistribution by means of tax-benefit policies, in response to the changing inequality. The evaluation is conducted using EUROMOD statistics data, created based on the EU Survey on Income and Living Conditions (SILC), conducted using Eurostat methodology in all EU countries, as well in Serbia.

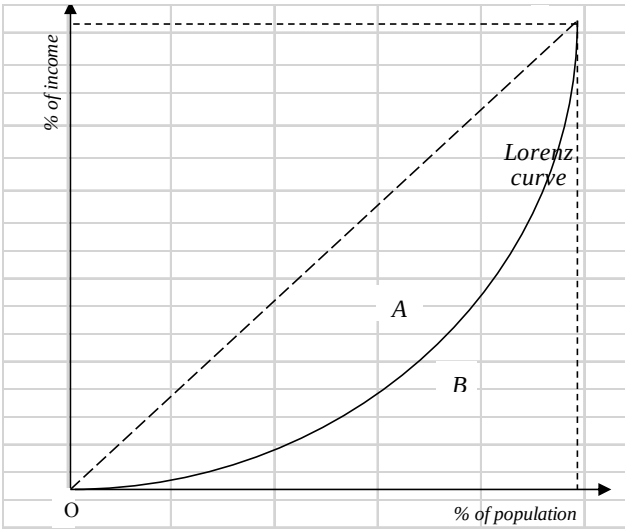
The remaining of the paper is structured as follows. The section 2 is dealing with the issues related to measurement of inequality and the redistributive effects of taxes and benefits. In section 3 the trends in income inequality in Europe during the crisis are analyzed. In section 4 the size of redistribution through taxes and benefits, as well the change in the redistributive effects of income tax and social benefits during the crisis are evaluated and discussed. Section 5 concludes.

2. MEASURING INEQALITY AND REDISTRIBUTVE POWER OF TAXES AND BENEFITS

Measurement and analysis of inequality and redistributive power of public policies (taxes and social benefits) is based on the Lorenz curve, which describes the cumulative distribution of income by observation units (e.g. individuals or households). If the horizontal axis stands for cumulative of population and vertical line is the cumulative of income, the slope of Lorenz curve equal to 45° implies that income is equally distributed (each individual or household has the same amount of income), which in practice does not

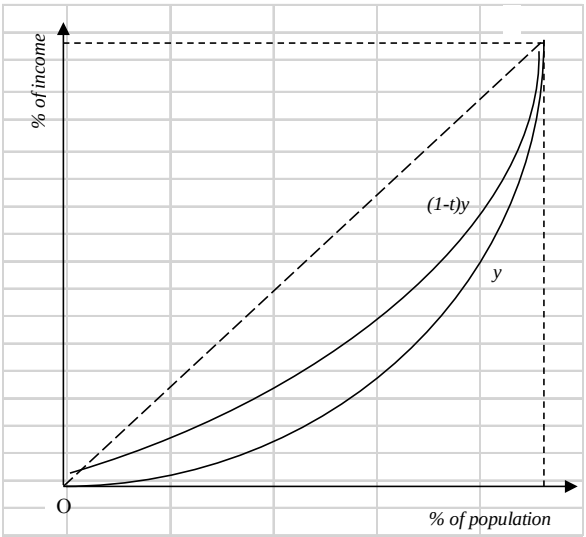
happen. When the slope of Lorenz curve is lower than 45°, there is an income inequality, so the distance of the Lorenz curve from the 45° line actually represents the size of inequality (Figure 1).

Figure 1: Lorenz curve and Gini coefficient



Source: Lambert (2001)

Figure 2: Measuring impact of tax-benefit policies on Gini coefficient



Source: Lambert (2001)

If Lorenz curve was rectangular it would mean that one individual or household holds entire national income, which is the another theoretical extreme. As the distance of Lorenz curve from the 45° indicates the degree of deviation from perfect equality, the degree of inequality can be measured as the share of the area between the Lorenz curve and the 45° line (A) in the total area of the triangle, i.e. one half of the quadrant (A+B), which is the Gini coefficient:

$$G = \frac{A}{A+B} \tag{1}$$

Since A+B=1/2 (as the 45° line splits the quadrant into two equal triangles), Gini coefficient can be stated as (see Lambert 2001):

$$G = \frac{A}{A+B} = \frac{A}{1/2} = 2A = 2(\frac{1}{2} - B) = 1 - 2B \tag{2}$$

Gini coefficient, as the most commonly used measure of inequality, can be stated also in continuous terms. If L(p) is the function of distribution of income by individuals, which can range from L(0)=0 to L(1)=1, than the area B, below the Lorenz curve, can be calculated using integral. Stating the equation (2) in the form of an integral implies (Lambert 2001):

$$G = 1 - 2B = 1 - \int_0^1 L(p)dp \tag{3}$$

Gini coefficient can also be measured in discrete terms, as it represents the sum of ratio of average absolute deviation of income of each unit and the mean income. If income of individual *i* is Y_i and income of individual *j* is Y_j while the mean income is μ and N is the total number of individuals, Gini coefficient equals (Lambert 2001):

$$G = \sum_i \sum_j \frac{|y_i - y_j|}{2N^2 \mu} \tag{4}$$

Gini coefficient can range from 0 to 1, so zero Gini implies perfect equality of income distribution, while Gini equal to 1 implies that all income is held by one individual. The higher the value of Gini coefficient, the higher the inequality.

If $Y_i > Y_j$,income tax is regarded as progressive when $t_i > t_j$. In that case:

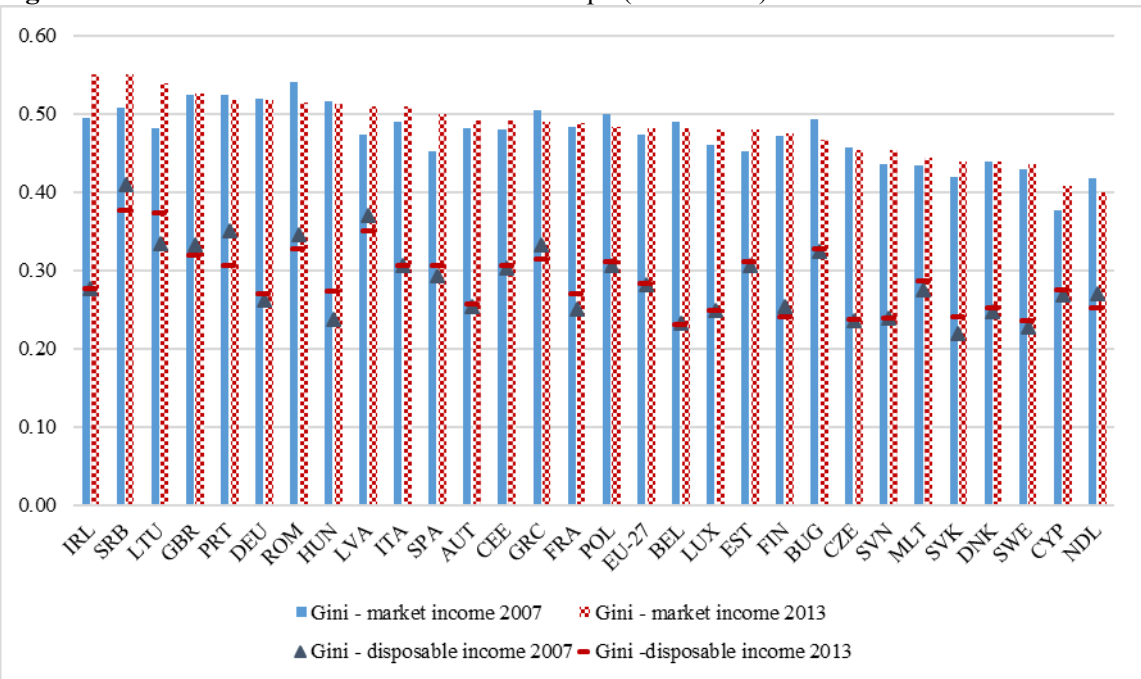
$$\sum_i \sum_j \frac{\left|(1-t_i)y_i - (1-t_j)y_j\right|}{2N^2\mu} < \sum_i \sum_j \frac{\left|y_i - y_j\right|}{2N^2\mu} \qquad (5)$$

Equation (5) implies that in case of progressive income tax, after-tax Gini coefficient ($G_{y\text{-}t}$) is lower than before-tax Gini (G_y), which means that progressive taxes reduce inequality (Figure 2).

3. TRENDS IN INCOME INEQUALITY DURING THE CRISIS

Market income stands for income earned at the market, before government intervention, i.e. before income tax and social security contributions are deducted and before social benefits are added. Market income inequality in Europe is substantial. During the crisis, market income Gini in Europe rose slightly, from 0.493 (mean value) in 2007 to 0.499 in 2012. Increase in market income Gini during the crisis (from 2007 to 2013) was posted in 19 countries, while in 9 countries market income Gini declined (Figure 3). Market income inequality in the countries of the CEE has risen slightly faster than the mean rise in Europe, so the market income inequality in CEE both before and after the crisis was slightly higher in CEE than the EU-27 average (0.480 and 0.491 in 2007 and 2013 respectively). At the same time, disposable income[1] inequality in Europe (in average terms) amounts to 0.282 (both before and after the crisis), while in the CEE being close to 0.303 and 0.305 (in 2007 and 2013 respectively).

Figure 3: Market income Gini coefficient in Europe (2007-2013)



Source: EUROMOD database and author's calculations

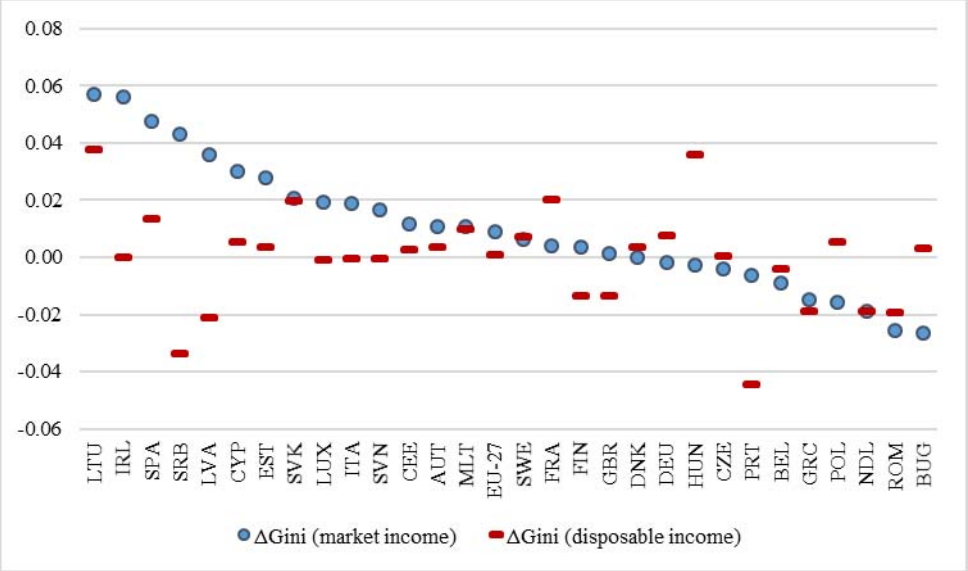
Variation of market income inequality in Europe is also substantial. According to the SILC data, in 2007, before the World Economic Crisis, market income Gini in Europe was ranging from 0.38 (in Cyprus) to 0.54 (in Romania), while after the crisis, in 2013, variation was slightly reduced (ranging from 0.4 in Netherlands to 0.55 in Ireland and Serbia).

[1] Disposable income refers to market income decreased by income tax and social security contributions and increased by social benefits.

3. CHANGES IN INEQUALITY AND REDISTRIBUTIVE EFFECTS OF TAXES AND BENEFITS DURING THE CRISIS

As market income inequality in Europe is relatively high, governments tend to perform significant redistribution by means of tax and benefit policies, which is why disposable income[2] inequality, measured using Gini coefficient, is substantially lower – by approximately 20 percentage points. Although market income inequality in EU-27 posted slight increase during the crisis, disposable income inequality remained unchanged (Table 1), while in the CEE rise in disposable income inequality was smaller than the rise in market income inequality. Market income inequality in Serbia during the crisis posted a strong rise, as Gini has increased by 4.3 pp, thus becoming the highest in Europe, while disposable income inequality declined. These trends in Europe can suggest, that in response to the rising inequality, redistributive effects of taxes and benefits have been lifted, which may be due to automatic stabilization, as well due to discretionary change in tax-benefit policies. Although in average terms tax-benefit system in Europe absorbed part of the rise of market inequality, in almost a third of the total number of European countries, rise in disposable income Gini during the crisis was larger than rise in market income Gini, suggesting that in these countries the tax-benefit systems have failed to absorb the effects of rising market income inequality (Figure 4).

Figure 4: Changes in market income and disposable income Gini coefficient (2007-2013)



Source: EUROMOD database and author's calculations

Inequality-adverse social planner (government) is expected to respond to rising income inequality by enhancing progressivity and redistributive effects of tax and benefit system. Redistributive effects of taxes may be measured by the amount of change in Gini coefficient after taxation comparing to the pre-tax Gini coefficient. In the same manner, redistributive power of social benefits can be measured.

Table 1: Effects of tax and benefit policies on income inequality in Europe

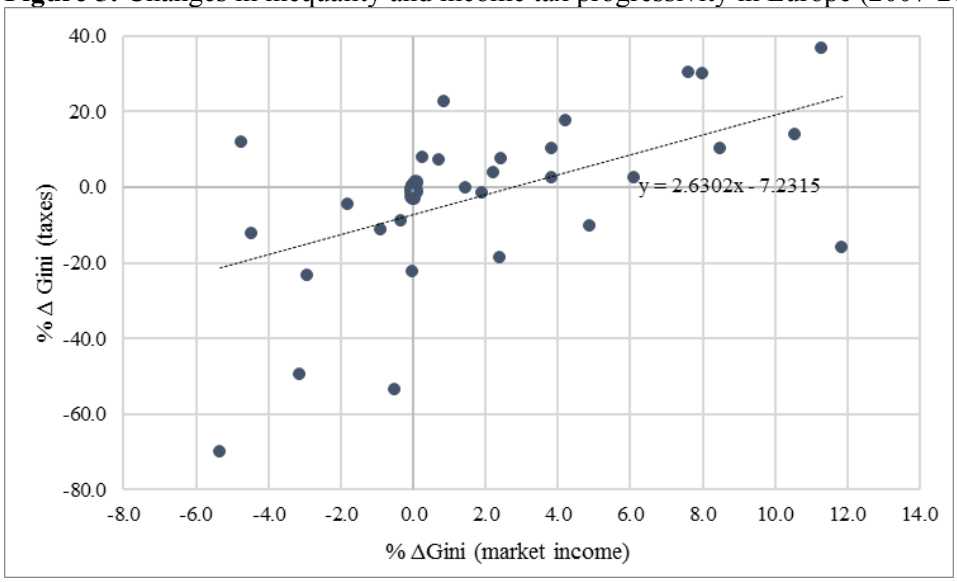
	Year	Gini coefficient			
		Market income	Effects of taxes	Effects of benefits	Disposable income
EU-27	2013	0.482	-0.047	-0.153	0.282
EU-27	2007	0.473	-0.047	-0.144	0.282
CEE	2013	0.491	-0.030	-0.155	0.305
CEE	2007	0.480	-0.037	-0.140	0.303
SRB	2013	0.550	-0.011	-0.164	0.375
SRB	2007	0.507	-0.010	-0.089	0.409

Source: Author's calculations using EUROMOD statistics data

2

Income tax and social benefits in Europe reduce inequality, i.e. Gini coefficient by 20 percent points, which is equivalent to 40 percent, the total redistributive effects of taxes and benefits (their impact on Gini coefficient) being slightly higher (by 0.8 percentage points) in 2013 than in 2007. Redistributive effects of taxes and benefits in the CEE, in terms of their impact on Gini coefficient, is by 1-1.5 percentage point smaller than the EU-27 average. In Serbia, redistributive effects of taxes and benefits are somewhat lower than the CEE average, although comparing from 2007 to 2013, the total redistributive effects of tax-benefit system in Serbia has increased considerably, due to improvement of social benefit scheme.

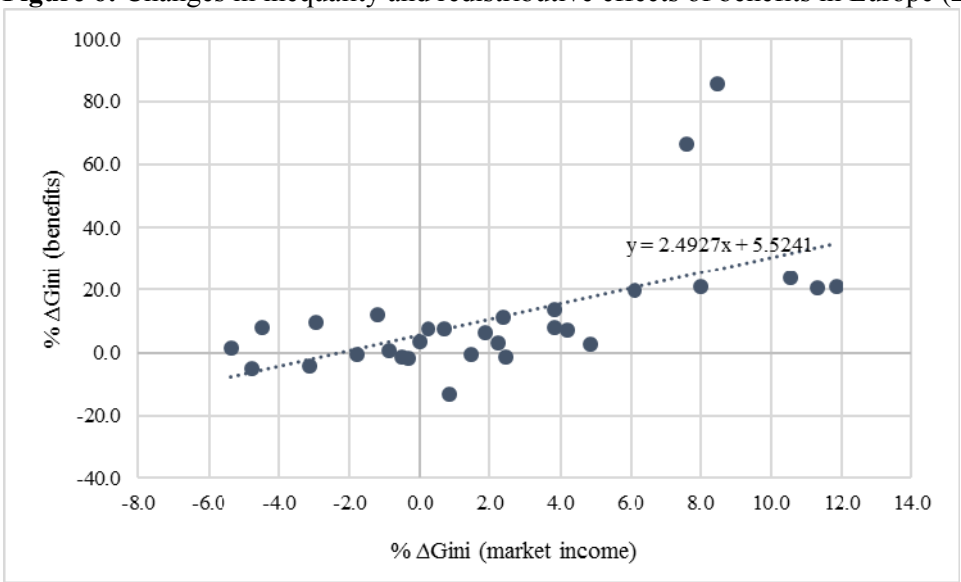
Figure 5: Changes in inequality and income tax progressivity in Europe (2007-2013)



Source: Authors' calculations based on EUROMOD data

Out of the total income redistribution in Europe by the government intervention, approximately three quarters are achieved by means of the social benefits, while one quarter of redistribution is made by income taxes. In the CEE countries, share of income redistribution attributed to the social benefits is higher than the EU-27 average, being close to one fifth of the total redistribution, while in Serbia more than 90% of redistribution is achieved using benefits, while less than 10% is attributed to income tax. The results (Table 1, Figure 5 and 6) indicate that during the crisis the share of benefits in the total income redistribution has increased, while progressivity of income tax has been reduced, both at the EU-27 level, in the CEE as well in Serbia.

Figure 6: Changes in inequality and redistributive effects of benefits in Europe (2007-2012)



Source: Authors' calculations based on EUROMOD data

Figures 5 and 6 show the percentage change in market income Gini coefficient from 2007 to 2013 and the percentage change in redistributive effects of taxes (or benefits) in the same period. Empirical data presented in the Figure 5 and Figure 6 suggest strong positive correlation between the change in market income inequality and the change in redistributive effects of taxes and benefits, suggesting that rising market income inequality was associated with inequality-reducing response of tax-benefit policies. Correlation between the percentage change in market income Gini and the percentage change in redistributive effects of taxes from 2007 to 2013 was close to 0.5, while the correlation between the change in percentage market income Gini and the percentage change in redistributive effects of benefits was somewhat stronger, amounting to 0.6.

5. CONCLUSION

Rising market income inequality in Europe during the recent crisis makes the question of income redistribution by means of public policies, relevant. Our results indicate that in the EU-27 rise in market income inequality was accompanied by the increase in the income redistribution by the government, mostly by means of strengthening social benefits scheme, while the redistributive effects of income tax remained unchanged. Therefore, increase in redistributive effects of social benefits has fully offset the increase in market income inequality, which is why disposable income inequality has not changed from 2007 to 2013. The CEE countries have also responded to rising market income inequality by strengthening redistributive power of social benefits, while the progressivity of income tax deteriorated slightly, so the rise in disposable income inequality was smaller than increase in market income inequality. In Serbia, rise in market income inequality was accompanied by the strong improvement of redistributive power of social benefits, by means of the 2011 reform of the social protection scheme, so in 2013 redistributive effects of social benefits have almost doubled comparing to 2007, at the same time exceeding the EU-27 and the CEE average, while redistributive effects of income tax remained very low.

Governments in Europe have responded to rising market income inequality during the crisis by strengthening redistributive capacities of the social benefit scheme, which has prevented strong rise in disposable income inequality. However, space for further improvement of income redistribution by means of tax-benefit policies is limited, considering the negative effects of tax progressivity and generous social welfare schemes on economic efficiency (labor supply, savings, investment in human capital, entrepreneurship, etc.). Therefore, in the future governments are expected to tackle the challenges of rise in market income inequality, using different instruments other than taxes and benefits, such as improvement of distribution of dividend from technological progress and globalization.

REFERENCES

[1] Atkinson, A. B. (2015). *Inequality*. Harvard University Press.

[2] Dabla-Norris, M. E., Kochhar, M. K., Suphaphiphat, M. N., Ricka, M. F., & Tsounta, E. (2015). Causes and consequences of income inequality: a global perspective. International Monetary Fund.

[3] Lambert, P. (2001). *The distribution and redistribution of income*. Manchester University Press.

[4] Piketty, T. (2014). Capital in the Twenty-first Century (Cambridge, Massachusetts and London, England, The Belknap Press of Harvard University Press).

[5] Stiglitz, J. E. (2012). *The price of inequality: How today's divided society endangers our future*. WW Norton & Company.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MERE PERFORMANSI PORTFOLIJA – MOGUĆNOSTI ZA PRIMENU NA FINANSIJSKOM TRŽIŠTU SRBIJE

PORTFOLIO PERFORMANCE MEASURES - POSSIBILITIES FOR IMPLEMENTATION IN FINANCIAL MARKET OF SERBIA

IRENA JANKOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, irenaj@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Predmet analize u ovome radu jesu mere performansi portfolio menadžera i upravljanih portfolija. Razmatraju se prednosti i nedostaci Sharpe-ove, Treynor-ove, Jensen α mere, informacioni količnik, M^2 i T^2 mera performansi. Poseban osvrt u radu usmeren je na mogućnost primene navedenih mera na manje razvijenim finansijskim tržištima, sa primerom za finansijsko tržište u Srbiji.*

Ključne reči: *Sharpe-ova mera, Treynor-ova mera, Jensen α mera, informacioni količnik, M^2 mera, T^2 mera, nerazvijena tržišta.*

Abstract: *The subject of the analysis in this paper are performance measures of portfolio managers and managed portfolios. The advantages and disadvantages of Sharpe's, Treynor's, Jensen's α, information ratio, M^2 and T^2 performance measures are considered. A special focus in the paper is put on the possibility of application of these measures in less developed financial markets, with an example for the financial market in Serbia.*

Keywords: *Sharpe's measure, Treynor's measure, Jensen's α measure, information ratio, M^2 measure, T^2 measure, underdeveloped markets.*

1. UVOD

Mere performansi portfolija oslanjaju se na logiku ravijenu u modelu vrednovanja kapitalne aktive (engl. Capital Asset Pricing Model). Sam model definiše ravnotežnu relaciju između rizika i prinosa kako hartija od vrednosti tako i portfolija. Svaki portfolio koji generiše prinose više od prosečnih za konkretan nivo preuzetog rizika smatra se superiornim u poređenju sa drugim portfolijima sa slabijim za rizik prilagođenim prinosima. Ukupan rizik ulaganja moguće je razložiti na sistematsku i nesistematsku komponentu. Određene mere koje će biti predstavljene u nastavku uzimaju u obzir ukupni, dok druge posmatraju sistematski rizik kod merenja performansi portfolio menadžera i upravljanih portfolija. U radu će biti predstavljene Sharpe-ova mera, Treynor-ova mera, Jensen α mera, informacioni količnik, M^2 i T^2 mera performansi. Dodatno, prve tri mere biće izračunate za upravljana portfolija sa tržišta kapitala u Srbiji. Time će se istaći izazovi koji prate njihovu primenu na manje razvijenim tržištima.

2. TREYNOR-OVA MERA PERFORMANSI

Treynor nudi investitorima kompozitnu meru portfolio performansi koja uzima u obzir sistematsku komponentu rizika ulaganja (Treynor 1966). Treynor-ova mera portfolio performansi definiše se na sledeći način:

$$T = \frac{\left(\bar{r}_p - \bar{r}_f\right)}{\beta_p} \tag{1}$$

gde brojilac predstavlja riziko premiju, a imenilac rizik portfolija. Mera stavlja u odnos kompenzaciju u vidu portfolio prinosa iznad nerizične kamatne stope po jedinici sistematskog rizika.

Primer 1. Pretpostavimo da je prosečan godišnji prinos za indeks S&P500 7%, dok je prosečan prinos na državne zapise 3%. Merimo performanse tri portfolio menadžera sa sledećim ostvarenim rezultatima:

Tabela 1: Primer izračunavanja Treynor-ove mere

Manadžer	Prosečan godišnji prinos	Beta	Treynor mera
A	8%	0,80	(0,08-0,03)/0,8 = 0,0625
B	12%	1,05	(0,12-0,03)/1,05= 0,0857
C	13%	1,30	(0,13-0,03)/1,3 = 0,0769

Što je viši nivo Treynor-ove mere, bolje su performanse portfolija. Da su performanse portfolio menadžera i portfolija kojim su upravljali poređene samo na osnovu realizovanog prinosa, neispravno bi bilo zaključeno da je menadžer C ostvario najbolje rezultate. Međutim, kada se uzme u obzir i rizik kojem je svaki portfolio bio izložen da bi se ostvario konkretan nivo prinosa, najbolji rezultat je ostvario menadžer B. Uz to sva tri menadžera su ostvarila bolje performanse merene Treynor merom u poređenju sa performansama tržišta kao celine (0,07-0,03)/1=0,04.

S obzirom na to da prezentovana mera posmatra samo sistematsku komponentu rizika, pretpostavlja se da je menadžer upravljao diversifikovanim portfoliom hartija od vrednosti kod koga je eliminisana nesistematska komponenta rizika. U slučaju nedovoljno diversifikovanih portfolija potrebno je koristiti alternativne mere performansi.

3. SHARPE-OVA MERA PERFORMANSI

Sharpe-ova mera performansi stavlja u odnos ostvareni prosečan prinos portfolija iznad nerizične kamatne stope i ukupan rizik portfolija meren standardnom devijacijom prinosa portfolija (Sharpe 1966, 1975. i 1994).

$$S = \frac{\left(\bar{r}_p - \bar{r}_f\right)}{\sigma_p} \tag{2}$$

Primer 2. Pretpostavimo da je prosečan godišnji prinos za indeks S&P500 7%, dok je prosečan prinos na državne zapise 3%. Standardna devijacija prinosa indeksa iznosila je 12%. Merimo performanse tri portfolio menadžera sa sledećim ostvarenim rezultatima:

Tabela 2: Primer izračunavanja Sharpe-ove mere

Manadžer	Prosečan godišnji prinos	Standardna devijacija portfolija	Sharpe mera
X	8%	8%	(0,08-0,03)/0,08 = 0,625
Y	12%	15%	(0,12-0,03)/0,15 = 0,6
Z	13%	20%	(0,13-0,03)/0,2 = 0,5

Rezultat sugeriše da portfolio sa najboljim performansama nije nužno onaj sa najvišim realizovanim prinosom, već onaj koji je ostvario adekvatan prinos po preuzetoj jedinici ukupnog rizika koje prati konkretno investiranje, tj. za rizik prilagođen prinos. U ovom primeru to je portfolio X. Uz to sva tri menadžera su ostvarila bolje performanse merene Sharpe-ovom merom u poređenju sa performansama tržišta kao celine (0,07-0,03)/0,12=0,333.

4. JENSEN ALFA MERA PERFORMANSI

Kao i prethodno navedene mere performansi i ova mera se oslanja na logiku modela vrednovanja kapitalne aktive. Meri dodatni prinos portfolija iznad njegovog očekivanog ili ravnotežnog prinosa (Jensen 1968. i 1972).

$$\alpha_p = \bar{r}_p - \left(\bar{r}_f + \beta_p\left(\bar{r}_m - \bar{r}_f\right)\right) \tag{3}$$

Jensen-ova α pokazuje u kojoj meri je portfolio menadžer uspeo da ostvari prinos iznad prosečnog za konkretan nivo sistematskog rizika. Za portfolija koja generišu prinos iznad očekivanog kaže se da ostvaruju pozitivnu α.

Primer 3. Pretpostavimo da je prosečan godišnji prinos za indeks S&P500 7%, dok je prosečan prinos na državne zapise 3%. Merimo performanse tri portfolio menadžera sa sledećim ostvarenim rezultatima:

Tabela 3: Primer izračunavanja Sharpe-ove mere

Manadžer	Prosečan godišnji prinos	Beta	Jensen mera
D	9%	0,8	α = 0,09-(0,03+0,8*(0,07-0,03) = 0,028 = 2,8%
E	13%	1,1	α = 0,13-(0,03+1,1*(0,07-0,03) = 0,056 = 5,6%
F	13%	1,2	α = 0,13-(0,03+1,2*(0,07-0,03) = 0,052 = 5,2%

Najbolje performanse ostvario je menadžer fonda E, iako se moglo očekivati da će portfolio F ostvariti viši prinos za preuzeti viši nivo rizika.

5. INFORMACIONI KOLIČNIK

Ovaj pokazatelj stavlja u odnos alfu portfolija sa nesistematskim rizikom portfolija merenog standardnom devijacijom reziduala (''greška praćenja'') koji su dobijeni regresijom dodatnih prinosa porfolija u odnosu na dodatne prinose tržišnog indeksa.

$$IR = \frac{\alpha_p}{\sigma_{e_p}} \tag{4}$$

Meri ekstra prinos po jedinici nesistematskog rizika koji je moguće diversifikovati ulaganjem u indeksni portfolio.

Svaka od pomenutih mera ima određene prednosti. Sharpe-ova mera ima primenu kod portfolija koji nisu dovoljno diversifikovana i sadrže značajnu komponenu nesistematskog rizika. Treynor-ova mera ima više primene kod portfolija koji su visoko diversifikovana i kod kojih je preostala sistematska komponenta rizika. Takođe, upotreba ove mere je značajna za menadžere koji upravljaju sa više portfolija. Osnovni nedostatak prezentovanih indikatora jeste činjenica da teško mogu biti konzistenetne mere performansi s obzirom na to da se korišćene mere rizika u njima razlikuju, dok se i nivoi preuzetog rizika, dodatno, razlikuju među različitim portfolijima. Zato se u praksi koriste i dopunske mere performansi portfolija - M^2 i T^2 mera.

6. M^2 MERA PERFORMANSI

Kao i Sharpe-ova mera performansi M^2 mera se fokusira na ukupan rizik meren standardnom devijacijom prinosa portfolija, ali se pri tome mera rizika upravljanog portfolija svodi na rizik reprezentativnog tržišnog indeksa. Upravljani portfolio se kombinuje sa državnim zapisima dok se rizik ne izjednači sa rizikom tržišnog indeksa. Nakon izjednačavanja ukupnog rizika upravljanog portfolija i tržišta, performanse se porede jednostavnim poređenjem ostvarenih prinosa (Modigliani and Modigliani 1997).

$$M^2 = r_{p^*} - r_M \tag{5}$$

7. T^2 MERA PERFORMANSI

Logika formiranja ove mere ista je kao i kod M^2 mere. Razlika je u tome što se T^2 mera oslanja na Treynor-ovu meru performansi. Ponovo se formira prilagođeni portfolio od upravljanog portfolija i državnih zapisa koji ima isti nivo, ovoga puta, sistematskog rizika kao i tržišni portfolio, tj. betu jednaku 1.

$$T^2 = r_{p^*} - r_M \tag{6}$$

Potom je prinos prilagođenog portfolija direktno uporediv sa prinosom tržišnog portfolija kao benčmarka. Razlika u prinosu prikazuje dodatni prinos upravljanog portfolija u poređenju sa benčmark portfoliom nakon prilagođavanja za razliku u nivou tržišnog rizika.

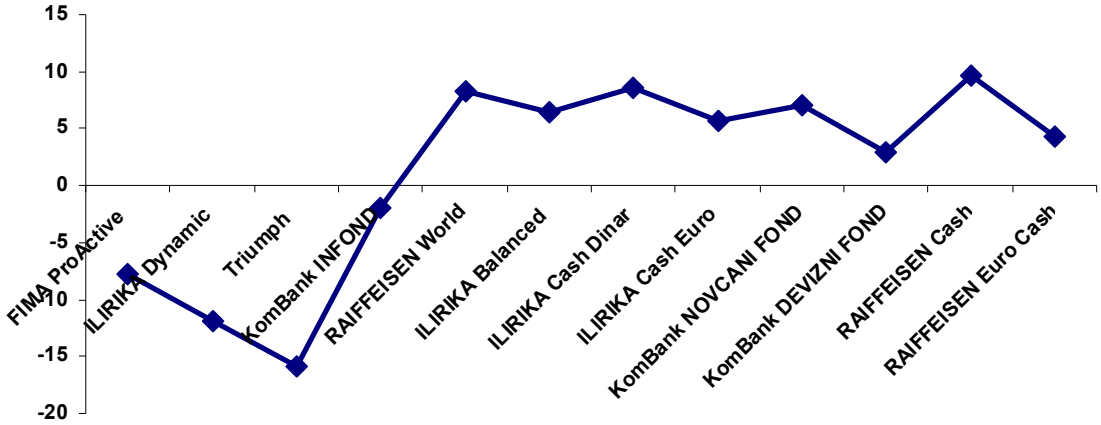
8. MOGUĆNOSTI ZA PRIMENU MERA PORTFOLIO PERFORMANSI NA FINANSIJSKOM TRŽIŠTU U SRBIJI

Prezentovane mere performansi empirijski su testirane na podacima sa finansijskog tržišta u Srbiji. Finansijsko tržište u našoj zemlji karakteriše, još uvek, nizak nivo razvijenosti, niska likvidnost i visok nivo koncentracije vlasništva, pa otud mali broj akcija u slobodnom prometu. Pored vlasničkih instrumenata na tržištu dominiraju državne dužničke hartije od vrednosti, dok su segmenti korporativnih i municipalnih obveznica u početnoj fazi razvoja.

Investicioni fondovi u Srbiji posluju u skladu sa Zakonom o investicionim fondovima iz 2006. godine. Sa početkom primene zakona od 2007. godine na tržištu se pojavljuju i prvi investicioni fondovi koji dozvolu za obavljanje delatnosti dobijaju od Komisije za hartije od vrednosti. Trenutno na tržištu posluje četiri društva za upravljanje (FIMA INVEST, ILIRIKA, KOMBANK INVEST i RAIFFEISEN INVEST) i 13 fondova (od čega 12 otvorenih i jedan zatvoreni). Prema investicionom cilju, fondovi u Srbiji se mogu svrstati u jednu od sledećih grupa: fondovi očuvanja vrednosti imovine, balansirani fondovi i fondovi uvećanja vrednosti imovine.

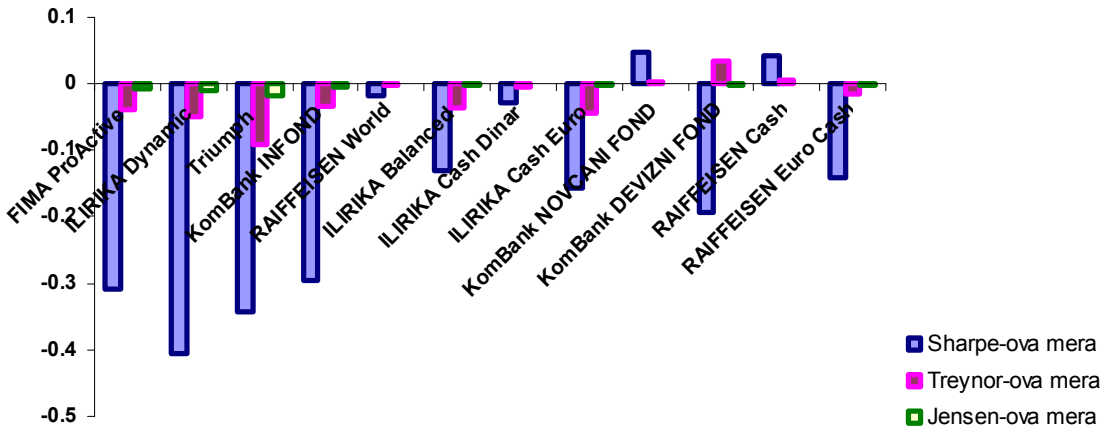
Za potrebe ove analize posmatrane su vrednosti investicionih jedinica 12 otvorenih investicionih fondova u Srbiji. Na bazi kretanja vrednosti investicionih jedinica izračunate su mesečne stope prinosa. Na osnovu njih su primenom regresione analize na dodatnim prinosima fondova i dodatnom tržišnom prinosu ocenjeni beta koeficijenti za svaki fond. Pored toga izračunati su prosečan prinos i standardna devijacija prinosa investicionih jedinica fondova za ceo posmatrani period od januara 2008 - decembra 2016. godine. Konačno, izračunate su Sharpe-ova, Treynor-ova i Jensen-ova mera performansi za posmatrani period za svaki fond u uzorku.

Dobijeni rezultati sugerišu da je poslovanje investicionih fondova u Srbiji bilo prilično loše u posmatranom periodu. Prosečan godišnji prinos bio je pozitivan u slučaju fondova očuvanja vrednosti, a visoko negativan u slučaju fondova uvećanja vrednosti.



Grafikon 1: Prosečna godišnja stopa prinosa investicionih fondova u Srbiji, u periodu 2008-2016. godina
Izvor: Kalkulacija i prikaz autora

Većina fondova ostvarila je negativne pokazatelje performansi, ili pokazatelje bliske nuli u slučaju Jensen-ove mere performansi.



Grafikon 2: Sharpe-ova, Treynor-ova i Jensen-ova mera peformansi za investicione fondove u Srbiji, u periodu 2008-2016. godina
Izvor: Kalkulacija i prikaz autora

Većina fondova ostvarila je negativnu riziko premiju po jedinici ukupnog i sistematskog rizika. To se posebno odnosi na fondove uvećanja vrednosti koji kao agresivniji investitori na finansijskom tržištu veći deo sredstava investitora ulažu u akcije. Fondovi sa pozitivnim pokazateljima uglavnom su fondovi očuvanja vrednosti koji su sredstva investitora ulagali u dinarske državne hartije i depozite kod banaka.

Sumarno posmatrano, dobijeni rezultati rezultat su sledećih faktora:

- nerazvijenog lokalnog finansijskog tržišta i malog broja likvidnih alternativa za ulaganje,
- nerazvijenog tržišta investicionih fondova,
- malog broja i slabog trgovanja likvidnim akcijama na berzi,
- svetske finansijske krize koja je negativno uticala na vrednost većine hartija na svetskim i na lokalnom tržištu.

Dalji razvoj finansijskog tržišta doprineo bi razvoju sektora investicionih fondova. Niz alterantiva za ulaganje omogućio bi adekvatan nivo diversifikacije portfolija i smanjenje ukupnog rizika ulaganja za investitore. Potrebno je podstaći preduzeća da dodatni kapital prikupljaju emisijom akcija. Boljom regulativom finansijskog tržišta i sprečavanjem trgovanja na bazi insajderskih informacija, sprečio bi se direktan uticaj transaktora na cenu hartija i omogućilo objektivnije formiranje cena na tržištu. Uporedo sa tim, potrebno je raditi na informisanju i edukaciji investitora o prednostima ulaganja raspoloživih finansijskih viškova u fondove kao alternativi štednji kod banaka ili samostalnom izlasku na berzu, a u skladu sa stepenom averzije prema riziku svakog transaktora.

9. ZAKLJUČAK

Mere performansi portfolija predstavljaju jedan od ključnih aspekata investicionog procesa. One daju neophodne informacije investitorima o tome kako je njihovim finansijskim sredstvima upravljano i kako je moguće upravljati u budućem periodu. Na taj način one predstavljaju i kontrolni mehanizam za rad portfolio menadžera. Testiranje osnovnih mera peformansi na lokalnom finansijskom tržištu pokazalo je mogućnosti, ali i ograničenja za njihovu primenu na nedovoljno razvijenim finansijskim tržištima.

LITERATURA

[1] Jensen, M. (1968). The Performance of Mutual Funds in the Period 1945-1964. Journal of Finance, 23, May, 389-416.

[2] Jensen, M. (1972). Optimal Utilization of Market Forecasts and the Evaluation of Investment Performance. In G. P. Szegö, & k. Shell (Eds.), Mathematical Methods in Investment and Finance (311-335). Amsterdam North Holland: Elsevier.

[3] Modigliani, F. & Modigliani, L. (1997). Risk-Adjusted Performance. The Journal of Portfolio Management, 23, 2, 45–54.

[4] Modigliani, L. (1997). Yes, You Can Eat Risk-Adjusted Returns. Morgan Stanley U.S. Investment Research (March 17, 1997), 1–4.

[5] Sharpe W.F. (1966). Mutual Fund Performance. The Journal of Business, 39, 1, Part 2: Supplement on Security Prices, 119-138.

[6] Sharpe W.F. (1975). Adjusting for Risk in Portfolio Performance Measurement. The Journal of Portfolio Management, 1, 2, 29-34.

[7] Sharpe W.F. (1994). The Sharpe Ratio. The Journal of Portfolio Management, 21, 1, 49-58.

[8] Treynor J.L. (1965). How to Rate Management of Investment Funds. Harvard Business Review, January-February 1965, 43, 63-75.

[9] www.nbs.rs

[10] www.belex.rs

[11] www.fimainvest.com.

[12] www.ilirika.rs.

[13] www.kombank.com/investicioni-fondovi.

[14] www.raiffeiseninvest.rs.

[15] www.sec.gov.rs.

[16] *Zakon o investicionim fondovima*. "Službeni glasnik RS", br. 46/2006, 51/2009, 31/2011 i 115/2014.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ULOGA FINANSIRANJA SPOLJNE TRGOVINE I OGRANIČENJA U VREMENIMA EKONOMSKE KRIZE

THE TRADE FINANCE ROLE AND ECONOMC CRISIS IMPEDIMENTS

IVANA POPOVIĆ PETROVIĆ [1]

[1]Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, ivanapp@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Ovaj rad ima za cilj da ukaže na značajnu ulogu finansiranja spoljne trgovine, uopšteno, kao i u vremenima ekonomske krize. Na primeru poslednje velike krize uočava se preveliko pripisivanje rizika ovoj oblasti, usled opšte nesigurnosti. Finansiranje spoljne trgovine je prva oblast koja je odmah bila izložena smanjenjima i neodobravanjima kredita. Pristup finansijskim sredstvima je bio ograničen. To je usporavalo likvidnost učesnika u spoljnotrgovinskom poslovanju, među kojima su najviše zastupljena Mala i srednja preduzeća. Problemi su nastali i u Zemljama u razvoju. Potencijalna rešenja nalaze se u pružanju podrške trgovini i to od strane bankarskog sistema Razvijenih zemalja.*

Ključne reči: *Finansiranje spoljne trgovine, finansijska kriza, procena rizika, Mala i srednja preduzeća.*

Abstract: *The aim of this paper is to point out the important role of trade finance in general, as well as during the economic crisis. In the case of the last crisis there was too much attribution of the risk to this area, caused by the general uncertainty.Trade finance is the first area that was immediately exposed to cutting credit lines. Access to trade finance has been constrained. All of that slowed down the liquidity of the participants in foreign trade, mostly SMEs. Problems have been risen in the Developing countries, too. Potential solutions could be found in support of trade by the Developed countries banking system.*

Keywords: *Trade finance, financial crisis, risk assessment, Small and Middle Enterprises.*

1. UVOD

Finansiranje spoljne trgovine predstavlja složen proces, bilo da se radi o direktnom kreditiranju, ili pak o indirektnom. Direktno kreditiranje predstavlja začetak ideje o finansiranju spoljne trgovine. S obzirom da se vremenom povećavao i broj učesnika ovog posla, danas je veoma prisutno i indirektno kreditiranje u međunarodnom poslovanju. Ovi poslovi predstavljaju klasičnu formu finansiranja spoljne trgovine, koja podrazumeva klasičan ugovorni odnos koji se formira između dužnika i njegovog poverioca. (Kozomara, Stojadinović Jovanović, 2011)

Direktni kreditini poslovi podrazumevaju kreditiranje kupca u inostranstvu od strane prodavca koji se nalazi u domaćoj zemlji, ili pak, kreditiranje domaćeg kupca od strane inostranog prodavca. Ovi krediti se smatraju komercijalnim kreditima, zato što se daju u robi, a vraćaju u novcu. Regulišu se ugovorom o kupoprodaji, a cena korišćenja sredstava uklopljena je u izvoznu cenu robe. Naziv direktno kreditiranje dobijen je usled činjenice da je izvor finansijskih sredstava, odnosno, kredita samo preduzeće koje izvozi svoju robu i odobrava kredit inostranom kupcu, a ne banka, kao finansijska institucija. Za razliku od direktnog kreditiranja, u indirektnom kreditiranju, kao treći učesnik u poslu, pored kupca i prodavca pojavljuje se banka kao finansijer i ona za svoju finansijsku uslugu naplaćuje kamatu. (Kozomara, Stojadinović Jovanović, 2011)

Vremenom su se razvili i značajno složeniji oblici finansiranja, poput: stranih direktnih investicija, međunarodnog faktoringa i forfetinga, međunarodnog lizinga, koncesija, vezanih poslova. Ovo su poslovi velikog broja učesnika, često i znatno većeg broja ugovora koji se potpisuju, kao i većeg broja finansijera i povećanog stepena osiguranja samih transakcija.

Procenjivanje uloge finansiranja spoljne trgovine ograničeno je usled nepostojanja kompletnih vremenskih serija podataka, kao i nepostojanjem jedinstvene baze podataka. U te svrhe se koriste podaci institucija i međunarodnih organizacija koje uglavnom raspolažu podacima *ad hoc* studija, rađenih na temu ocene poslovanja banaka, ili pak, prema kategorijama njihovog poslovanja. Međunarodni monetarni fond je prikupio podatke o trgovačkim bankama, a Međunarodna trgovinska komora, o 122 banke, iz 59 zemalja.

Bernska unija ima svoju bazu, u kojoj su uglavnom evidentirani iznosi o obimu obezbeđenja za izvozne kredite. (Sode, 2013) Pored ovih baza, s obzirom da je finansiranje spoljne trgovine teško pratiti pomoću već dostupnih podataka na globalnom nivou, često se pribegava i prikupljanju neformalnih podataka.

2. ULOGA I SPECIFIČNOSTI FINANSIRANJA SPOLJNE TRGOVINE

Procenjuje se da se između 80% i 90% međunarodne trgovine realizuje zahvaljujući finansiranju spoljne trgovine (*trade finance*). Ovaj pojam podrazumeva uglavnom kratkoročno odobravanje spoljnotrgovinskih kredita i obezbeđenje osiguranja i izdavanje garancija. (Internet sajt Svetske trgovinske organizacije) Na to ukazuju savremeni podaci. Ipak, ovo je bio značajan oblik međunarodnog poslovnog finansiranja i u prošlosti, s obzirom da se smatra da je to kreditiranje učesnika iz osnovnog, dakle, spoljnotrgovinskog posla, najstariji oblik međunarodnog poslovnog finansiranja. (Kozomara, Stojadinović Jovanović, 2011)

Specifičnosti finansiranja spoljne trgovine u odnosu na ostale vrste kreditiranja, dovode ovu oblast upravo u zonu većeg rizika u slučaju velikih ekonomskih kriza, poput krize iz 2008. godine. U pitanju nisu samo putevi odobravanja kredita, direktnim, ili indirektnim kreditiranjem, dakle, sa uključivanjem banke kupca, ili prodavca, pored učesnika u osnovnom spoljnotrgovinskom poslu, već i jačanje uloge transnacionalnih kompanija. Povećava se broj finansijera, učesnika i ugovora u ovim poslovima, pa se stoga ova forma finansiranja može nazvati složenom. U okviru ove kategorije finansiranja, izdvajaju se tradicionalni i novi oblici. Novi oblici finansiranja, poput faktoringa, forfetinga, lizinga, tajm šeringa, koncesija i vezanih poslova, podrazumevaju takve finansijske konstrukcije kojima finansijer finansira određene projekte na duži rok, radi sticanja profita, upravo kroz davanje zajmova, ili putem kreditnih aranžmana. (Kozomara, Stojadinović Jovanović, 2011) Navedeni oblici međunarodnog finansiranja imaju svoje prednosti i nedostatke, ali i specifičnosti, koje su postale očiglednije upravo u trenucima nastanka ekonomske krize.

Direktno kreditiranje, kao klasična forma međunarodnog poslovnog finansiranja, koje se može nazvati i interfirmsko kreditiranje, s obzirom da firma prodavca kreditira firmu svog kupca, nije nastalo samo kao posledica nemogućnosti firmi da dobiju kredit od banaka, kako se dugo smatralo u tradicionalnoj ekonomskoj teoriji. (Chauffour, Farole, 2009) Kao jedna od prednosti direktnog kreditiranja, kojim prodavac kreditira svog kupca, navodi se informaciona prednost (*information advantage*), usled koje interfirmsko razmenjivanje informacija, kao i poznavanje specifičnosti ove delatnosti, smanjuje rizik od neplaćanja, ili neizvršenja predviđenih obaveza. (Chauffour, Farole, 2009) Za razliku od treće strane, ove dve strane učesnika, analizirajući svaki posao pojedinačno, imaju realnije mogućnosti da predvide gde se može dogoditi propust. Drugi razlog opstajanja i značajnog udela interfirmskog finansiranja spoljne trgovine, može se pronaći u tzv. inkapsuliranom interesu (*encapsulated interest*) učesnika. (Chauffour, Farole, 2009) To znači da je prodavac koji odobrava kredit svom kupcu više zainteresovan da produži rok otplate kredita, nego što bi bila banka, iz razloga povezanosti njihovog funkcionisanja-njemu je taj kupac potreban i zbog nekih potencijalnih, novih kupovina u budućem periodu. Delatnost finansiranja nije osnovna delatnost prodavcu, ali vremenom, ovakav oblik kreditiranja postao je i faktor inostrane konkurentnosti prodavčeve robe. Za razliku od standardnih kredita, kada je u pitanju finansiranje spoljne trgovine, bilo da su u pitanju direktni, ili indirektni kreditni poslovi, podrazumeva se manje likvidna forma kreditiranja, s obzirom da je takav kredit vezan za određenu osiguranu robu i ne može se lako pretvoriti u kredit za druge namene. (Chauffour, Farole, 2009) Upravo navedene specifičnosti ukazuju na potrebu neometanog funkcionisanja ovog oblika finansiranja spoljnotrgovinskih poslova i ukazuju na činjenicu da je i u savremenom međunarodnom poslovanju neprevaziđena i potrebna upravo i jedna od klasičnih formi međunarodnog poslovanja.

Posebna pažnja ovoj oblasti posvećena je naročito nakon krize, počev od 2009. godine, kada su uočena velika ograničenja, izražena u oblasti ponude ovih finansija *(the supply of trade finance*). Tada je nastupio period nestašice likvidnih sredstava, kao i ponovne procene rizika, što se najnegativnije odrazilo na funkcionisanje Malih i srednjih preduzeća (*Small and Middle Enterprises — SMEs*), koja su i najviše zastupljena među preduzećima koja realizuju spoljnotrgovinske poslove.

Prema procenama WTO, privatne banke pokrivaju oko 80% tržišta za finansiranje spoljne trgovine, a ostalo se odnosi na agencije za kreditiranje izvoza i regionalne razvojne banke. Još daleke 2003. godine, pokrenuta je inicijativa koja je okupljala kako regionalne banke, tako i multilateralne institucije, poput Svetske trgovinske organizacije, Međunarodnog monetarnog fonda, Svetske banke, ali i privatne banke, kako bi se unapredile mogućnosti za kretanje spoljnotrgovinskog finansiranja, naročito akreditiva, ka Zemljama u razvoju, ali i ka Najmanje razvijenim zemljama sveta. Tu inicijativu je predvodilo neformalno telo Svetske trgovinske organizacije (*World Trade Organization — WTO*) pod nazivom Grupa stručnjaka za finansiranje spoljne trgovine (*Expert Group on Trade Financing*). Ovo telo odgovara za svoj rad Generalnom direktoru i Sekretarijatu WTO. Narednih godina, ova grupa je radila na unapređenju infrastrukture koja je neophodna za

funkcionisanje finansiranja spoljne trgovine, naročito u navedenim grupama zemalja i to razvojem bankarskog sektora, kao i agencija za kreditiranje izvoza. (Internet sajt Svetske trgovinske organizacije)

Zemlje u razvoju se, poslednjih desetak godina, usled nedovoljno razvijene infrastrukture neophodne za priliv finansijskih sredstava, a i nakon globalne finansijske krize likvidnosti, suočavaju sa smanjenjem priliva finansijskih sredstava po stopi od oko 6% godišnje. Ovaj podatak ukazuje na smanjenje priliva, koje prevazilazi i stopu smanjenja obima i vrednosti trgovine u istom periodu. Ova velika grupa zemalja učestvuje sa oko trećinom u međunarodnoj trgovini. Problemi koji se odnose na infrastrukturu podrazumevaju i nemogućnost otvaranja akreditiva. I Razvijene zemlje su nakon krize 2008. godine, uočile probleme koji se odnose na finansiranje trgovine. Tada su velike privatne banke ukazale na nemogućnost finansiranja trgovine, navodeći primer da je u tom periodu izgubljena vrednost poslova na osnovu ugovora potpisanih između SAD i Kine, u iznosu od oko 1 milijarde USD. (Internet sajt Svetske trgovinske organizacije)

Moguća rešenja za povećanje obima međunarodnog finansiranja, mogu se pronaći i u okvirima zajedničkih inicijativa međunarodnih institucija. Njihov osnov jeste povećanje saradnje između javnog i privatnog sektora i to na kraći i srednji rok. Međunarodni monetarni fond, Svetska banka, Međunarodna trgovinska komora i Bernska unija, ulažu zajedničke napore kako bi bile uklonjene prepreke zajedničkom preuzimanju rizika (*co-risk sharing*) i zajedničkom finsnsiranju (*co-financing*). (Internet sajt Svetske trgovinske organizacije) Primeri ovih zajedničkih aktivnosti mogu se naći u slučaju velikih regionalnih integracija, poput APEC-a. Na jednom od njihovih samita najavljeno je osnivanje Mreže za osiguranje Azijsko-pacifičke trgovine (*Asia-Pacific Trade Insurance Network*), čiji je cilj da ustanovi saradnju na nivou reosiguranja između izvoznih kreditnih agencija u datom regionu. Očekivano je da će upravo ovakva saradnja omogućiti povećanje investicionih i trgovinskih tokova u tako velikom regionu. Novinu predstavlja uočavanje značaja zajedničkih finansiranja i podele rizika, kao glavnih barijera, pored, naravno, nedovoljno razvijene logistike, neometanom odvijanju trgovinskih tokova.

Izvozne kreditne agencije mogu imati značajnu ulogu u povećanju finansijske likvidnosti i to povećanjem bar kratkoročnih kredita namenjenih Malim i srednjim preduzećima, ali i obezbeđivanjem kreditnih garancija. Samo kreditiranje ne predstavlja dominantnu aktivnost ovih Agencija, već proširenje uloga bankarskog sektora, pružanjem garancija za finansiranje spoljnotrgovinskih poslova, a za koje su više nadležne same banke.

3. UTICAJ KRIZE NA FINANSIRANJE SPOLJNE TRGOVINE

Odmah nakon uočavanja finansijske krize, tokom 2008. godine, primećen je veoma ubrzan pad obima i vrednosti međunarodne trgovine, čak intenzivniji u odnosu na pad svetske proizvodnje. Smatra se da je jedan od razloga usporavanja međunarodne trgovine, svakako činjenica da je došlo do smanjenja ponude finansijskih sredstava namenjenih upravo finansiranju spoljne trgovine. I umesto da trgovina bude jedan od faktora povećanja privrednih aktivnosti, zbog brzine smanjenja obima i vrednosti međunarodne trgovine, postojala je bojazan da će upravo ona postati faktor produbljivanja recesije. Procenjeni jaz u finansiranju spoljne trgovine (*trade finance gap*) iznosio je između 25 i 500 milijardi dolara, a procene Međunarodnog monetarnog fonda su ukazivale na čak četiri puta brži pad vrednosti finansiranja spoljne trgovine od kraja 2008. godine zaključno sa januarom 2009. godine, u odnosu na prethodni period. (Chauffour, Farole, 2009) Obim trgovine je 2009. godine prvi put od 1982. godine, zabeležio pad. (Sode, 2013) Pored smanjenja obima i vrednosti međunarodne trgovine, uočeno je usporavanje finansijskog sektora orijentisanog ka finansiranju spoljne trgovine. Banke su se žalile na smanjenje tražnje za kreditima, tako da se očekivalo da će glavni uzrok produbljavanja recesije finansijskog sektora biti upravo usporavanje spoljnotrgovinskih tokova.

Uvek u vremenima finansijskih kriza i samo finansiranje spoljne trgovine biva izloženo njenim negativnim delovanjem. To se moglo uočiti i u skorijoj ekonomskoj prošlosti, u vreme Istočnoazijske krize 1997-1998. godine, kada su bankarski krediti namenjeni spoljnoj trgovini bili smanjeni za 50% u Republici Koreji i za čak 80% u Indoneziji. Banke u inostranstvu su odbijale da izvrše konfirmaciju akreditiva domaćih banaka, usled gubitka poverenja u bankarski sitem ovih Zemalja u razvoju. U slučaju Indonezije, ta se situacija veoma loše odrazila na sam izvoz, usled visokog učešća od preko 40%, sirovina i poluproizvoda u strukturi njihovih izvoznih proizvoda. Slična kriza dogodila se i Argentini i Brazilu, u periodu 2001-2002. godine, kada se smanjilo odobravanje kredita namenjenih spoljnotrgovinskim poslovima, za 30-50%. (Chauffour, Farole, 2009) Posledice krize najviše su se u ovim zemljama odražavale prvenstveno, na mogućnosti za otvaranje akreditiva, ali i na odobravanje kratkoročnih kredita domaćih banaka namenjenih proizvodnji za izvoz, kao i premošćavanju perioda naplate izvezene robe.

Ipak, tokom prvih meseci od nastanka krize, prema rezultatima studije Međunarodnog monetarnog fonda, smanjenje vrednosti finansiranja spoljne trgovine bilo je daleko manje u odnosu na smanjenje vrednosti izvoza u istom periodu, što se moglo koristiti kao argument da je usporavanje međunarodnih trgovinskih

tokova uslovilo i usporavanje finansijskog sektora. Oko 70% banaka je ukazalo na smanjenje poslovanja uz upotrebu dokumentarnog akreditiva za čak 11% od oktobra 2008. godine do januara 2009. godine. Ovi podaci upućuju na zaključak da nije bilo dovoljno ponude na finansijskom tržištu, usled krize, mada ima podataka koji ukazuju i na smanjenje tražnje za finansiranjem spoljne trgovine. Smanjenje tražnje je registrovano kod 73% banaka, ali je u slučaju polovine banaka ukazano i na smanjenje dostupnosti kredita. (Chauffour, Farole, 2009) S obzirom da su u pitanju podaci dobijeni od banaka, prirodno je očekivati da će banke isticati, kao i u ovom slučaju, da je uzrok smanjenja vrednosti finansiranja spoljne trgovine, na drugoj strani, dakle na strani tražnje za finansiranjem.

Tabela 1: Vrednost transakcija koje se odnose na spoljnu trgovinu

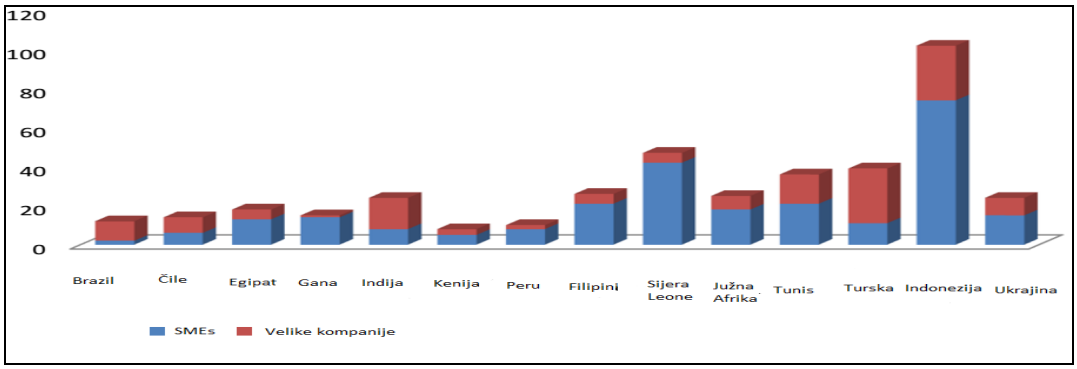
Procentualna promena, za period oktobar 2008-januar 2009. godine		
	Finansiranje spoljne trgovine	Izvoz
Industrijalizovane zemlje	-9%	-26%
Latinska Amerika	-9%	-45%
Centralna Evropa	-11%	-40%
Istočna Evropa	-13%	-55%
Srednji Istok/Zemlje Magreba	-5%	-26%
Napredne privrede istočne Azije	-10%	-37%
Južna Azija	-9%	-13%
Subsaharska Afrika	-8%	--

Izvor: Jean-Pierre Chauffour, Thomas Farole, „Trade Finance in Crisis — Market Adjustment or Market Failure?“, *Policy Research Working Paper 5003*, The World Bank, July 2009, p. 10.

Kriza je najviše pogodila kategoriju Malih i srednjih preduzeća, koja su i najviše zastupljena u spoljnoj trgovini, usled nemogućnosti pristupa izvorima finansiranja. Mogla se uočiti nedovoljnost sredstava, uglavnom kratkoročnih kredita domaćih banaka nemenjenih proizvodnji za izvoz, kao i sredstava namenjenih premošćavanju perioda naplate izvezene robe, čime je ugrožena prvenstveno likvidnost izvoznika.

Studija Svetske banke rađena na osnovu podataka za 425 firmi i 78 banaka, koje se nalaze u 14 Zemalja u razvoju, pokazala je da su ipak najviše pogođena SMEs i to ne usled nemogućnosti pristupa akreditivima, već usled nedostatka sredstava za finansiranje proizvodnje za izvoz. Takođe, ova studija je i potvrdila da je ukupna finansijska kriza bila od presudnog uticaja na smanjenje spoljnotrgovinskih poslova, usled smanjenja raspoloživih finansijskih sredstava, čime je potisnut drugi, mogući razlog smanjenja obima i vrednosti međunarodne trgovine nakon nastanka krize, a koji je tražen na strani učesnika u spoljnotrgovinskim poslovima i njihovoj smanjenoj tražnji za kreditima. (Malouche, 2009)

Za razliku od SMEs, velike kompanije u kriznim situacijama mogu računati i na samofinansiranje, što ih čini neuporedivo manje ranjivim. Primeri u ovim zemljama ukazuju na nepovoljnost pozicije SMEs u odnosu na velike, uglavnom transnacionalne kompanije (TNK), koje se prvenstveno finansiraju na međunarodnom tržištu, a ne lokalno. Međutim, sa dolaskom krize, dogodilo se da su upravo ove kompanije tražile pomoć domaćih banaka za kreditiranje svog poslovanja i tako istisnule domaća SMEs. To se dogodilo u Čileu, a u Indoneziji se čak išlo i do povećanja cene kreditiranja domaćim SMEs, u odnosu na velike kompanije. Na Filipinima se bankarski sektor uglavnom orijentisao ka TNK i domaćim, isključivo velikim izvoznicima. (Malouche, 2009)

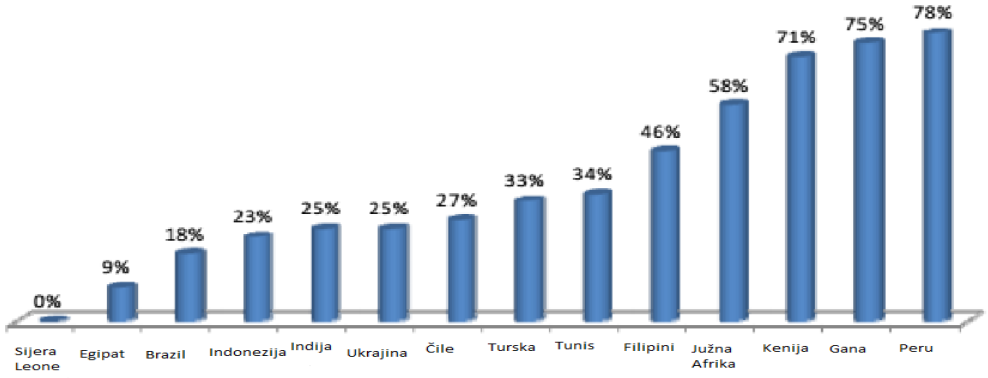


Izvor: Mariem Malouche, „Trade and Trade Finance Developments in 14 Developing Countries Post September 2008“, *Policy Research Working Paper 5138,* The World Bank, November 2009, p. 35.

Slika 1: Broj Malih i srednjih preduzeća i velikih kompanija u Zemljama u razvoju

Posebno otežana pozicija SMEs u ZUR kada je u pitanju obavljanje spoljnotrgovinskih poslova, usled lakšeg pristupa finansiranju spoljne trgovine za velike transnacionalne kompanije, u odnosu na SMEs, postaje očiglednija ukoliko se sagleda koncentrisano prisustvo upravo ove kategorije kompanija u većini ZUR.

Uglavnom su SMEs u ZUR, nailazila na probleme koji su se odnosili na visoke troškove prilikom pokušaja da dobiju kratkoročne kredite namenjene proizvodnji za izvoz. Trećina praćenih preduzeća, prema navedenoj studiji, navela je upravo ovaj razlog, kao najveće ograničenje za realizaciju izvoznih poslova, što se uočava i na osnovu podataka narednog grafikona.



Napomena: podaci iskazani u procentima-preduzeća koja su se izjasnila da je prepreka njihovom poslovanju, pristup kreditima namenjenih proizvodnji za izvoz;

Izvor: Mariem Malouche, „Trade and Trade Finance Developments in 14 Developing Countries Post September 2008“, *Policy Research Working Paper 5138,* The World Bank, November 2009, p. 15.

Slika 2: Problem pristupa kreditima namenjenih proizvodnji za izvoznike primarnih proizvoda u Keniji, Gani i Peruu

Iako bankarski krediti namenjeni izvozu ili uvozu, podrazumevaju niži rizik od ostalih bankarskih kredita, u pitanju je oblast kreditiranja na koju se znatno više odrazilo smanjenje ponude finansijskih sredstava. Do toga je došlo iz više razloga, među kojima se navode: kratkoročno preuveličavanje procene rizika, smanjenje međubankarskog poverenja i nepoklapanje informacija usled toga, kao i pokušaj banaka da se prvenstveno, usled krize likvidnosti, smanje kratkoročni bankarski krediti namenjeni premošćavanju perioda naplate izvezene robe, koji su često kraći i od šest meseci. Pored smanjenja ponude, na pojavu finansijskog jaza, uticalo je povećanje cene kapitala banaka namenjenog upravo finansiranju spoljne trgovine, koje prevazilazi procene realnog rizika, a koje je nastalo i usled uvođenja novih, strožijih regulatornih okvira, poput Bazela II, kao i usled procene rizika na osnovu geografskih elemenata, a ne realnih karakteristika same privrede. (Chauffour, Farole, 2009) Iznenađenje je povećanje cene kapitala namenjenog finansiranju spoljne trgovine, s obzirom na činjenicu da se upravo ovaj vid finansiranja tradicionalno smatra vrstom aktivnost niskog rizika, pa mnogi eksperti smatraju da se radilo o izraženoj diskriminaciji, što je ukazalo na potrebu i za koordiniranom intervencijom. (Sode, 2013)

Neophodnost intervencije kako bi se pružila podrška finansiranju spoljne trgovine nije samo pokušaj spašavanja SMEs na međunarodnom nivou, već ima i multiplikovani efekat, kako na bankarski, tako i na sektor spoljne trgovine, prvenstveno usled samog karaktera odnosa koji postoji između ova dva sektora. Ukoliko bi se to apstrahovalo, kako direktno kreditiranje, veoma zastupljeno u spoljnoj trgovini, tako i indirektno kreditiranje u kom banka podržava osnovni spoljnotrgovinski posao, mogu biti uzroci novih kriza bankarskog sektora. Vlade mnogih zemalja su uključene u pružanje podrške, kao na domaćem, tako i na multilateralnom nivou. Njihove intervencije su pažljivo usmerene, kako ne bi došlo do rasipanja sredstava, odnose se na povećanje ukupne likvidnosti banaka, a ne samo na aspekt bankarskih kredita namenjenih izvozu ili uvozu, usmerene su na oslobađenje sredstava namenjenih finansiranju spoljne trgovine Razvijenih zemalja ka novim velikim izvoznicima, kao i na povećanju sredstava namenjenih prvenstveno direktnom kreditiranju i međunarodnom faktoringu.

Kao jedan od pokušaja povećanja ponude finansijskih sredstava u domenu finansiranja spoljne trgovine, navodi se i rezultat sastanka G20 u Londonu, tokom aprila 2009. godine, kada je odlučeno da se ka izvoznim kreditnim agencijama i multilateralnim razvojnim bankama, usmeri 250 milijardi USD, uglavnom namenjenih odobravanju bankarskih garancija. Kao argument za ovu odluku navodi se uloga i značaj izvoznih kreditnih agencija iz Razvijenih zemalja, koje su upravo svojom osnovnom aktivnošću, dakle,

odobravanjem garancija namenjenih spoljnotrgovinskim poslovima, uspele da donekle nadoknade smanjenje odobravanja kredita namenjenih izvozu ili uvozu. (Sode, 2013)

4. ZAKLJUČAK

Uloga finansijskih institucija u Razvijenim zemljama je u domenu finansiranja spoljne trgovine, a naročito u periodima nakon krize, od presudnog značaja. Bez obzira na ulogu i očekivanja od tržišta Naprednih privreda, kao i nekih razvijenijih privreda ZUR, finansijski sistem Razvijenih zemalja, upravo u vremenim ekonomskih kriza, treba da utiče na uravnoteženje, kako bi banke Razvijenih zemalja povratile poverenje, kako u svoje poslovanje, tako i svoje poverenje u učesnike u poslovima finansiranja spoljne trgovine, da bi se nastavilo sa neometanim finansiranjem spoljne trgovine. S obzirom da se većina spoljnotrgovinskih poslova realizuje uz upotrebu već oprobanih instrumenata plaćanja, poput dokumentarnog akreditiva, a kako je već i dokazana njegova uloga u smanjivanju rizika poslovanja, trebalo bi ukazivati na neopravdano nepoverenje na koje je finansiranje spoljne trgovine naišlo u periodu krize. Potreba je ukazana usled internacionalnog karaktera finansiranja spoljne trgovine, koji je i uticao da upravo ta oblast postane provodnik velike krize.

*1 Ovaj rad predstavlja rezultat rada na projektu: "Uloga savremenih metoda menadžmenta i marketinga u unapređenju konkurentnosti preduzeća u Srbiji u procesu njene integracije u Evropsku uniju" (broj 179062) koji Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu realizuje za Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

LITERATURA

[1] Kozomara Jelena, Sandra Stojadinović Jovanović, *Međunarodno poslovno finansiranje*, Ekonomski fakultet, Beograd, 2011.

[2] Internet sajt Svetske trgovinske organizacije, *The challenges of trade financing*, https://www.wto.org/english/thewto_e/coher_e/challenges_e.htm, 10.06.2016.

[3] Jean-Pierre Chauffour, Thomas Farole, „Trade Finance in Crisis — Market Adjustment or Market Failure?“, *Policy Research Working Paper 5003*, The World Bank, July 2009.

[4] Arthur Sode, „The shortage of international trade finance during 2008 crisis: findings and prospectives“, *Tresor-Economics*, No.108, January 2013, Internet sajt Vlade Francuske, http://www.tresor.economie.gouv.fr/File/386655

[5] Mariem Malouche, „Trade and Trade Finance Developments in 14 Developing Countries Post September 2008“, *Policy Research Working Paper 5138,* The World Bank, November 2009.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

THE PHENOMENON OF THE NEGATIVE INTEREST RATES WITH A SPECIAL REVIEW OF THE MACEDONIAN BANKING SECTOR

VIOLETA CVETKOSKA[1], BOJANA RADINOVIĆ[2]

[1] Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics – Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mk
[2] bojana.radinovic5@hotmail.com

Abstract: *The aim of this paper is to examine the phenomenon of the negative interest rates in Switzerland, Sweden, Denmark, the Czech Republic, Germany and Japan and to analyse the efficiency of the Macedonian banking sector. From the analysis it can be stated that the negative interest rates change the way the banks operate, and they can be used only by countries that are developed. In order for the relative efficiency of the Macedonian banking sector to be evaluated, we use the non-parametric methodology DEA. In the analysis, two inputs and two outputs are used, the period is 2016, and the sample comprises 13 banks. According to the results, 7 of the banks are identified as relatively efficient, and the average efficiency of the Macedonian banking sector is 91.56%. For the banks that are identified as inefficient, what is pointed out is how they can improve the efficiency, which presents valuable information for the management and leads to improved efficiency of the banking sector as a whole.*

Key words: *Negative Interest Rates, Commercial Banks, Non-Parametric Approach.*

1. INTRODUCTION

For some time now, in the monetary policies of well-known countries, a phenomenon called negative interest rates has been appearing, yet nobody has still fully defined them. Through defining the economy, as well as its sectors, the Central Bank, being responsible for the monetary policy of a country and representing a fiscal agent in its government, regardless of how independent it is, reaches something only on the surface quite insignificant and small, yet successful enough to turn the whole banking sector around. World countries, which nobody would believe that by being so successful and in the top 10 in the list of highly developed countries, would take the negative interest rates as a measure and comfort that their economies will not be destroyed by themselves, thus completely perplexing theoreticians.

In this paper, the analysis of the phenomenon of negative interest rates comprises the following countries: Switzerland, Sweden, Denmark, the Czech Republic, Germany and Japan. The reasons why these rates are used in each of them is different. For example, Denmark uses them in order to protect its national currency, while Japan tries to deal with the falling prices through them.

In Macedonia, in 2016 both the active and passive interest rates reached the lowest level in its history in the last two decades. On the one hand, the average active interest rate in 2016, compared to the previous year, was reduced by 0.4 percentage points, while the average passive interest rate was reduced by 0.3 percentage points. On the other hand, the interest spread in 2016 noted a minor yet continuous degradation (here the spread in denars with the foreign currency clause is excluded).

In order to examine the efficiency of the Macedonian banking sector in 2016 we use the leading non-parametric methodology data envelopment analysis (DEA). DEA in the literature of the operational research discipline is included by Charnes *et al.* (1978). This methodology measures the relative efficiency of the decision-making units (DMUs), which need to be homogeneous, meaning they need to use the same inputs in order to produce the same outputs. The relatively efficient DMUs have an efficiency score of 1 (100%) and they form the efficiency frontier, while for the relatively inefficient DMUs, this methodology enables the amounts and the sources of inefficiency to be determined. Most of the DEA applications are in banking, education, healthcare and hospital effficiency (Emrouznejad *et al.* 2008).

The paper is structured in the following way: apart from the introduction given in Section 1, the phenomenon of the negative interest rates is explained in Section 2. The Macedonian banking sector is

explained in Section 3, the analysis of its efficiency is given in Section 4, while the conclusion is given in Section 5.

2. THE PHENOMENON OF THE NEGATIVE INTEREST RATES

30 years ago, the negative interest rates were considered to be an irrational solution, or a synonym for failure because nobody then had ever expected that the rates would become zeros, while today they have overcome everybody's expectations, only not in a positive way – in fact, we have the opposite happening with the negative interest rates, i.e. the rates are below zero.

The novelty called negative interest rates is still not defined. The reason for such is precisely the aim that should be achieved with their use, but a key fact about these rates are that the central banks as a vital player in a country's monetary policy use them solely in the monetary policy of individual countries, thus completely changing the ways the banks work – the negative interest rates turn everything that we know about them upside down. Here it must be noted that not every country can use them, which is perceived as a bigger triviality in the efforts for achieving higher economic growth.

In the European market, the negative rates appeared as far back as 1972, and were kept in monetary policy until 1982. The reason for their use was the unconventionally high exchange rate, but towards the end of the application of such a solution to save its domestic currency, Switzerland was faced with a high inflation rate and a negative result for the use of these interest rates.

The 2008 crisis led the European Central Bank (ECB) to a situation of lowering the rates, which in fact is totally normal if the aim is an economy's expansion. So, according to the statistics of the ECB, in 2008 the rates decreased by 1.25 from the beginning to the end of the year, so that in 2009 they moved closer to zero. ECB started using these negative rates in the middle of 2014, after the interest rate in the period 2012-2013 did not move above zero, with two aims: firstly, to strengthen the economy, facing the countries with assets in the ECB with economic stagnation, which in the long term will reflect on every single country in Europe, regardless of whether they are or aren't a part of the Union or the Eurozone; and secondly, to stabilize the Euro. The ECB does not dictate the policies of the individual countries, but it responds only to the complete economy of the Union.

The first of the European giants to follow in the steps of the ECB, leading the country's rates into negative territory, is Sweden. The illogicality for the usage of such a monetary policy is created immediately afterwards, considering the fact that Sweden takes up the third place in the list of developed countries according to the OECD, but according to Riskbank the necessity for such a policy is the destabilisation of the Swedish currency, influenced by the weakened Euro, the high unemployment rate, and the ever higher deflation since 2012 (Bobkoff and Oyedele, 2016). The reason for this radical measure, to protect the economy from overheating, is also the unusual rate of unemployment because a developed country like Sweden could lower it, yet deflation is stated as a main carrier of such an illogical measure (Sweden Unemployment Rate, 2017). Following Sweden's decision, the second one is Denmark, whose reason for employing such a policy is the attempt to keep up the volume of demands, being frightened that the destabilisation of the Euro will directly affect the trading business, and at the same time, the Danish economy overall. The Danish Central Bank started feeing its commercial banks -0.2%, shortly rising to -0.1%, while today it may move to -0.65%, which in fact crosses those -0.4% of the ECB, which hasn't lowered its interest rates since March 16, 2016.

After the Danish case to protect its currency in order for the volume of demands to remain the same, the Czech Republic, after a long fight of trying to keep its national currency above 27 Koruna per Euro, decided to use the same monetary policy, regardless of the fact that at that time the Koruna was already stable. This monetary policy is used only in the short term by the Czech Central Bank, not expecting any results in regards to the economic growth and development (Gokoluk and Chamonikolas, 2016).

One of the European countries with a big asset contribution in the ECB, i.e. 19%, is Germany. Deutsche Bundesbank, unlike Sweden, Denmark and the Czech Republic, for the long run takes into consideration the economic stagnation of the Union and Europe, hence deciding the negative interest rates be reflected on the country's savings as well, i.e. when applying the monetary policy, it presses the population to move towards purchasing bonds, while trying not to harm small investors, meaning that the decision is that the negative interest rates apply only to deposits of over 100.000 Euros (Black and Hirsch, 2016). This kind of policy has a positive effect because the yield of the bonds grows more than ever before, regardless of the fact that they have by definition the lowest yield, but also the lowest risk.

An exceptional example regarding these negative rates is Japan. A country far from the European market and independent from the influence of the declining Euro, desperate after the lengthy battle with

falling prices, low corporate profit, and with this not being to the advantage of the economy because the Japanese public debt is twice the country's GDP, faced with a low value of its national currency, starts experimenting, thus blindly taking over the policy of the ECB, especially of the bond-buying policy of Germany, since the aim of the Japanese Central Bank is to put pressure on the population to buy bonds, not spend the money, as is the case with the Scandinavian countries and the Czech Republic. The Japanese investors want to save the economy, knowing that they might never see the money from the bonds they have bought, and they start to buy bonds, but that is unfortunately an unsuccessful move because by the end of July 2016, the yield of the bonds approaches -0.18%. This policy in Japan lowers the prices even more, thus making the value of the Yen fall.

It can be concluded that countries capable of using negative interest rates are highly developed, but they are all faced with a destabilisation of their national currencies, deflation or economic stagnation. Countries that are not developed or in the process of development are considered to not be in a position to use such a monetary policy, and it is not expected for their rates to fall lower than zero.

3. THE BANKING SECTOR IN MACEDONIA

The business model in the banks' operations in Macedonia is traditional - banks from the domestic private sector collect deposits and place them in loans to domestic enterprises and households (NBRM, 2017).

Deposits of households, which are the most significant source for financing of banking activities, note an increase in 2016, but at a slower pace, while the highest share (30%) in the banking sector's assets is given to loans of non-financial companies.

In Macedonia, on December 31, 2016, 18 depository institutions operated; 15 of which were banks and 3 savings houses. In the focus of this paper are the banks, as the share of savings houses in the banking sector is not significant.

The group of large banks includes those that had assets of more than 32.1 billion denars on December 31, 2016, as well as the following five banks: Stopanska Banka AD Skopje, Komercijalna Banka AD Skopje, Halk Banka AD Skopje, NLB Tutunska Banka AD Skopje and Ohridska Banka AD Ohrid. In the group of medium-sized banks are those that had assets of between 8.0 and 32.1 billion denars on the same date, and these are the following seven banks: Sparkasse Banka AD Skopje, Centralna Kooperativna Banka AD Skopje, Univerzalna Investiciona Banka AD Skopje, Stopanska Banka AD Bitola, Macedonian Bank for Development Promotion, Eurostandrad Banka AD Skopje, and ProCredit Banka AD Skopje. The group of small banks consists of those that had assets of less than 8.0 billion denars on the same date, and these are the following three banks: Silk Road Banka AD Skopje, Kapital Banka AD Skopje, and TTK Banka AD Skopje.

The banking network consists of 433 business units, and most of them are located in the region of Skopje. The number of employees in the banking sector is 5.985 and in 2016 it increased by 0.3%. Regarding the ownership structure, 11 banks are owned by foreign shareholders.

The indicators of solvency and capitalisation of the banking sector have downward changes. The Capital Adequacy Ratio (CAR) is 15.2% (on December 31, 2015 it was 15.5%). In October 2016, amendments to the Banking Law were adopted, which started in March 2017, and they refer to the introduction of new rules of the Basel Committee and the European Regulation for 4 types of capital buffers and with their fulfillment the solvency of banks in Macedonia will be supported.

The financial result at the end of 2016, compared to 2015, increased by 36.3% and amounted to 6.3 billion denars. Only two banks showed losses in the operation. The indicators of profitability and efficiency of the Macedonian banking sector have improved. In 2016, the net gain was increased, but the net interest margin remained unchanged (4.1%). In the increase of the financial result, the main carrier is the growth in the net interest income. Interest expenses decreased by 14.7% (by 822 million denars), while the interest income increased by 1.1% (by 215 million denars). In addition, the Macedonian banking sector continued to strengthen its operational efficiency in 2016. The average level of risk in the loan portfolio of banks is decreased, and the impairment is also decreased (due to the sale of part of the foreclosed property), which contribute to the increase in the financial result in 2016 by 1/3 (NBRM, 2017, p. 99). Regarding the interest rates in 2016, the active and passive interest rates of the banks continued to decrease, and having been monitored in the last two decades they were the lowest, in particular, the average active interest rate was 6.4%, and the average passive interest rate was 1.8%.

In the following section, the relative efficiency of the banking sector in Macedonia in 2016 was analysed using the non-parametric approach data envelopment analysis.

4. ANALYSIS OF THE RELATIVE EFFICIENCY OF THE MACEDONIAN BANKING SECTOR: DEA APPROACH

For the assessment of the relative efficiency of the commercial banks in Macedonia with the application of DEA, in the literature there are found the following three papers: (Micajkova and Poposka, 2013; Naumovska and Cvetkoska, 2014; and Naumovska and Cvetkoska, 2016).

In this paper, the aim is to analyse the relative efficiency of the Macedonian banking sector in 2016 with the application of DEA. The used inputs, outputs and model are the same as in Naumovska and Cvetkoska (2016), with the difference that in their paper the period from 2007 to 2013 is covered. Deposits and operating costs are inputs, while loans and net interest income are outputs. The model used is the output-oriented Banker-Charnes-Cooper (BCC) DEA model introduced by Banker *et al.* (1984), and this model is explained in Naumovska and Cvetkoska (2016, p. 321). In 2016, there were 15 banks in the Macedonian banking sector, and our sample for analysis consists of 13 banks. From the analysis are excluded the Macedonian Bank for Development Promotion (a state-owned bank that is not involved in deposits collection) and NLB Tutunska Banka AD Skopje (due to an unpublished annual report for 2016 in the period when this analysis was made). To solve the model, the DEA-Solver-LV software was used, and detailed information about this software can be found in Cooper *et al.* (2007, pp. 454-476).

Table 1 shows the statistics (max, min, average and standard deviation) for the inputs and outputs used, and Table 2 gives the correlation analysis.

Table 1: Statistics on Input/Output Data (in national currency)

	Deposits	Operating costs	Loans	Net interest income
Max	87.179.714,00	1.039.492,00	58.854.991,00	3.637.117,00
Min	2.721.245,00	53.363,00	1.872.717,00	122.577,00
Average	21.452.143,00	310.453,00	16.507.338,23	956.856,85
SD	25.151.654,98	265.994,90	16.874.329,39	1.085.919,08

Table 2: Correlation Analysis

	Deposits	Operating costs	Loans	Net interest income
Deposits	1	0.8866	0.9394	0.9655
Operating costs	0.8866	1	0.9720	0.9620
Loans	0.9394	0.9720	1	0.9920
Net interest income	0.9655	0.9620	0.9920	1

Based on the obtained efficiency scores (Table 3, Figure 1), 7 banks were relatively efficient in 2016 and they are: Halk Banka AD Skopje, Kapital Banka AD Skopje, Komercijalna Banka AD Skopje, Ohridska Banka AD Ohrid, Prokredit Bank AD Skopje, Stopanska Bank AD Skopje and Uni Banka AD Skopje, and 6 banks have an efficiency score of less than 1 and they are relatively inefficient. Relatively inefficient banks can improve their efficiency if they make certain changes in the inputs, i.e. in the outputs (Table 4). From Table 4 it can be seen that Silk Road Banka AD Skopje can become relatively efficient if it decreases its operating costs by 48.26% and increases: loans by 24.47%, and net interest income by 23.22%. Eurostandard Bank AD Skopje was relatively the most inefficient bank in 2016, and it can become relatively efficient if it increases: loans by 36.14% and net interest income by 56.65%.

The average efficiency of the Macedonian banking sector is 91.56%, and the group of large banks shows the highest efficiency in its operating.

Table 3: Efficiency scores

No.	DMU	Score
1	Silk Road Banka AD Skopje	0.8115
2	Eurostandard Banka AD Skopje	0.7345
3	Halk Banka AD Skopje	1
4	Kapital Banka AD Skopje	1

5	Komercijalna Banka AD Skopje	1
6	Ohridska Banka AD Ohrid	1
7	Prokredit Banka AD Skopje	1
8	Stopanska Banka AD Bitola	0.8064
9	Stopanska Banka AD Skopje	1
10	Sparkasse Banka AD Skopje	0.8522
11	TTK Banka AD Skopje	0.8652
12	Centralna Kooperativna Banka AD Skopje	0.8326
13	Uni Banka AD Skopje	1

Figure 1: Graphic representation of the efficiency of the commercial banks in Macedonia

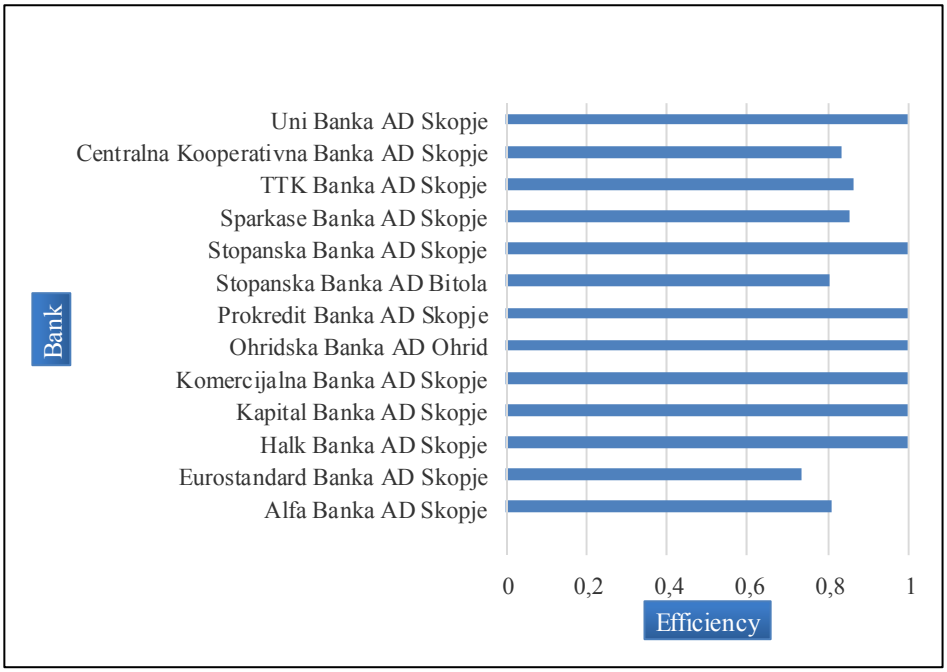


Table 4: Projection (BCC model)

	Deposits	Operating costs	Loans	Net interest income
Silk Road Banka AD Skopje	0.00%	-48.26%	24.47%	23.22%
Eurostandard Banka AD Skopje	0.00%	0.00%	36.14%	56.65%
Stopanska Banka AD Bitola	0.00%	0.00%	24.01%	35.20%
Sparkasse Banka AD Skopje	0.00%	-5.80%	17.34%	17.34%
TTK Banka AD Skopje	0.00%	-28.76%	46.77%	15.58%
Centralna Kooperativna Banka AD Skopje	0.00%	-1.70%	20.10%	37.79%

5. CONCLUSION

The sea of data and information regarding the negative interest rates is very shallow and there is not yet enough analysis that fully involves them. The emphasis of this paper is on six worldwide known countries (Switzerland, Sweden, Denmark, the Czech Republic, Germany and Japan), reviewing the fact that each of them uses these rates from different points and for different aims. Switzerland has been using them long before everyone else, for trying to protect their currency. In a not very different vein, Denmark and the

Czech Republic have also been trying to protect their own currencies, while Sweden as the first country that jumped in negative territory right after ECB, is aiming at lowering the unemployment rate. Germany is worried about the economic stagnation, and Japan follows the same policy as Germany, yet only trying to stop the falling prices. A limitation to making general conclusions about the phenomenon of the negative interest rates is that in this paper the United States of America are not included, but the States will be a subject of our further research.

The historically lowest active and passive interest rates in Macedonia were achieved in 2016 - the average active interest rate was 6.4% and the average passive interest rate was 1.8%. In order to investigate the efficiency of the Macedonian banking sector in 2016, this paper used the specially designed technique for linear programming – data envelopment analysis (DEA). The result is that 54% of the banks (7 of the analysed 13 commercial banks in Macedonia) are relatively efficient. The average efficiency of the Macedonian banking sector is 91.56%. Especially valuable information for the management of the banks is that with DEA, what can be identified is: which banks are relatively efficient and which are not, what are the amounts of inefficiency and how can the inefficient banks improve their efficiency, which further leads to gaining higher efficiency results of the banking sector of Macedonia as a whole.

REFERENCES

[1] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.

[2] Black, J., & Hirsch, J. (2016, August 11). Negative rates for the people arrive as German bank gives in. Retrieved February 14, 2017, from https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-08-11/negative-rates-for-the-people-arrive-as-german-bank-gives-in

[3] Bobkoff, D., & Oyedele, A. (2016, October 23). Economists never imagined negative interest rates — now they're rewriting textbooks. Retrieved February 14, 2017, from http://www.businessinsider.com/economists-negative-interest-rates-rewriting-textbooks-2016-10

[4] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. L. (1978). Measuring efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 6(2), 429-444.

[5] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software. (2nd ed.). New York: Springer Science + Business Media, LLC.

[6] Emrouznejad, A., Parker, B., & and Tavares, G. (2008). Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. Socio-Economics Planning Science, 42(3), 151-157.

[7] Gokoluk, S., & Chamonikolas, K. (2016, December 8). Czech central banker says negative rates may help end Koruna cap. Retrieved February 14, 2017, from https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-08/czech-central-banker-says-negative-rates-may-help-end-koruna-cap-iwgjoc4f

[8] Micajkova, V., & Poposka, K. (2013). Efficiency of Macedonian banks: A DEA approach. Research Journal of Finance and Accounting, 4(12), 141-149.

[9] Naumovska, E., & Cvetkoska, V. (2014). Measuring the efficiency of the banking sector in the Republic of Macedonia. Annual of the Faculty of Economics – Skopje, 49, 221-238.

[10] Naumovska, E., & Cvetkoska, V. (2016). Efficiency of the Macedonian banking sector. Yugoslav Journal of Operations Research, 26(3), 317-329. DOI: 10.2298/YJOR150228019N

[11] NBRM (2017). Report on the risks in the banking system of the Republic of Macedonia in 2016. Retrieved June 5, 2017 from http://www.nbrm.mk/WBStorage/Files/WebBuilder_Godisen_BS_31_12_20160.pdf (on Macedonian).

[12] Sweden Unemployment Rate. (2017). Retrieved February 14, 2017, from https://tradingeconomics.com/sweden/unemployment-rate

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRILAGOĐAVANJE DISKONTNE STOPE U ZAVISNOSTI OD PREDMETA I SVRHE PROCENE

DISCOUNT RATE ADJUSTMENTS FOR DIFFERENT VALUATION SUBJECTS AND VALUATION PURPOSES

NINA MILENKOVIĆ
KPMG d.o.o. Beograd, nmilenkovic@kpmg.com

Rezime: *Novčani tokovi koji se koriste za procenu vrednosti treba da odražavaju predmet procene i svrhu procene. Da bi se obezbedila konzistentnost i ispravan obračun vrednosti, neophodna su i prilagođavanja diskontne stope u zavisnosti od novčanih tokova, tj. od predmeta i svrhe procene. U radu su opisane specifičnosti određivanja novčanih tokova i diskontne stope za neke od najčešćih predmeta i svrha procene.*

Ključne reči: *diskontna stopa, predmet procene, svrha procene, novčani tokovi, struktura kapitala, porez na dobit..*

Abstract: *The cash flows used for valuations have to reflect valuation subject and valuation purpose. In order to be consistent and ensure correctness in valuation, the discount rate have to be adjusted as well. This paper describes specific differences of cash flows and discount rates for different valuation subjects and valuation purposes.*

Keywords: *discount rate, valuation subject, valuation purpose, cash flows, capital structure, income tax.*

1. UVOD

U procenjivačkoj praksi nije redak slučaj da klijenti ili saradnici kojima procena nije specijalnost postavljaju pitanje kako je moguće da se u istom izveštaju za istu kompaniju koriste različite diskontne stope. Da bi se na ovo pitanje dao korektan odgovor, potrebno je poći od suštine i značenja diskontne stope.

Diskontna stopa predstavlja ključnu vezu između prinosa, tj. novčanih tokova koje generiše predmet procene i njegove vrednosti. Stoga je ključni preduslov za korektno određivanje diskontne stope konzistentnost između diskontne stope i novčanog toka na koji se primenjuje.

Novčani tokovi određeni su predmetom procene, tj. zavise od izvora koji ih generiše: sopstveni kapital, investirani kapital, neko pojedinačno nematerijalno ulaganje, ukupna imovina koja se koristi u obavljanju primarne delatnosti i sl. U skladu sa principom konzistentnosti, svakom predmetu procene odgovara „njegova“ diskontna stopa.

Pored toga, isti predmet procene može se posmatrati iz različitih uglova, tj. procenjivati za različite svrhe. U tom slučaju novčani tokovi će biti isti, ali će se menjati određene komponente diskontne stope.

U radu su opisane specifičnosti novčanih tokova za pojedine predmete procene, prilagođavanja komponenti diskontne stope za pojedine predmete, kao i prilagođavanje nekim najčešćim svrhama procene. Kao primer je prikazan slučaj telekomunikacione kompanije koja posluje u više zemalja regiona, a radi jednostavnosti su prikazani samo primeri sa novčanim tokovima vezanim za poslovanje u Srbiji.

2. OPŠTA DEFINICIJA DISKONTNE STOPE

Diskontna stopa najčešće se definiše kao cena kapitala, ali ona je zapravo ili stopa prinosa na sopstveni kapital koju zahtevaju investitori (u slučaju procene vrednosti sopstvenog kapitala) ili kombinacija stope prinosa na sopstveni kapital koju zahtevaju investitori i cene duga (u slučaju procene vrednosti investiranog kapitala).

Prosečna ponderisana cena kapitala uobičajeno se određuje na sledeći način:

$$WACC = r_E \frac{E}{V} + r_D(1-t)\frac{D}{V} \quad (1)$$

gde je:

r_E – cena sopstvenog kapitala, tj. zahtevani prinos na ulaganje u kompaniju,
r_D – cena duga pre poreza,
E – sopstveni kapital,
D – pozajmljeni kapital (dug),
V – investirani kapital (E+D),
E/V – učešće sopstvenog u investiranom kapitalu
D/V – učešće duga u investiranom kapitalu
t – poreska stopa.

Cena sopstvenog kapitala (eng. Cost of Equity, u daljem tekstu CoE), prema modifikovanom CAPM modelu, definisana je na sledeći način:

$$r_E = r_f + \beta \cdot ERP + CRP\ (+\ SRP) \quad (2)$$

gde je:

r_f – stopa prinosa na nerizična ulaganja, tzv. stopa bez rizika (risk-free rate),
β – beta koeficijent, mera sistematskog rizika,
ERP – tržišna premija rizika na sopstveni kapital (akcije), razlika između stope prinosa na tržišni portfolio akcija i stope bez rizika,
CRP – rizik zemlje ulaganja,
SRP – specifična premija rizika.

Značenje pojedinih komponenata i načini njihovog utvrđivanja detaljno su opisani u brojnim radovima, između ostalih u Fernandez (2015), Milenković (2011, 2012).

Iz WACC se najčešće izvode i specifične stope koje se koriste za utvrđivanje eksternog (ekonomskog) otpisa kod procene vrednosti osnovnih sredstava, testiranje obezvređenja, procenu vrednosti nematerijalnih ulaganja i sl.

3. SPECIFIČNOSTI NOVČANIH TOKOVA I DISKONTNE STOPE U ZAVISNOSTI OD PREDMETA I SVRHE PROCENE

Novčani tokovi koji se koriste za procenu vrednosti treba da odražavaju predmet procene i svrhu procene. Drugim rečima, u formiranju novčanih tokova potrebno je voditi računa:

- da budu obuhvaćeni svi prilivi i odlivi koje predmet procene generiše, a koji su značajni sa stanovišta svrhe procene i njome određene definicije vrednosti, tj. ugla iz kojeg se vrednost posmatra,
- da novčani tokovi budu obuhvaćeni u celokupnom korisnom veku predmeta procene,
- da se vrednost na kraju perioda eksplicitne projekcije (tzv. rezidualna ili terminalna vrednost) utvrdi na adekvatan način.

Komponente novčanog toka koje su najčešće nesporne su prihodi i rashodi iz poslovanja, do nivoa EBITDA (dobit pre amortizacije, kamata i poreza), a one koje se najčešće određuju u zavisnosti od svrhe procene su prilivi i odlivi po osnovu finansiranja i porezi.

Uključivanje ili izostavljanje određenih komponenata može da bude sprovedeno logikom i stavom procenjivača, ali može da bude i obavezujuće, tj. propisano određenim standardima. Primera radi, Međunarodni računovodstveni standard 36 - *Umanjenje vrednosti imovine* zahteva da novčani tokovi i diskontna stopa koji se koriste za utvrđivanje vrednosti u upotrebi budu definisani pre oporezivanja).

Najčešće specifičnosti novčanih tokova za pojedine predmete i svrhe procene (definicije vrednosti) prikazane su u sledećem pregledu:

Tabela 1: Specifičnosti novčanih tokova za pojedine predmete i svrhe procene

	Procena tržišne vrednosti kapitala	Procena investicione vrednosti	Procena korporativnog brenda	Obezvređenje gudvila	Obezvređenje sredstava	Restrukturiranje ili zaduživanje
Period obuhvata	neograničen	neograničen	uglavnom neograničen	uglavnom neograničen	ograničen preostalim vekom sredstava	zavisi od scenarija
Servisiranje dugova	pre ili posle	pre ili posle	uglavnom pre	uglavnom pre	pre	posle
Oporezivanje	uglavnom posle	uglavnom posle	uglavnom posle	pre	pre	posle
Trajna obrtna sredstva	obavezno	obavezno	indirektno	obavezno	može a ne mora	obavezno
Rezidualna vrednost	kapitalizacija ili multiplikator	kapitalizacija ili multiplikator	uglavnom kapitalizacija	kapitalizacija	ostatak vrednosti	zavisi od scenarija
Diskontna stopa	CoE ili WACC, zavisno od tretmana dugova	CoE ili WACC, zavisno od tretmana dugova	izvedena iz WACC	WACC	izvedena iz WACC	CoE

U skladu sa specifičnostima novčanog toka, potrebno je izvršiti i prilagođavanja diskontne stope, kao što pokazuje Tabela 2.

Tabela 2: Specifičnosti diskontne stope za pojedine predmete i svrhe procene

	Procena tržišne vrednosti kapitala	Procena investicione vrednosti	Procena korporativnog brenda	Obezvređenje gudvila	Obezvređenje sredstava	Restrukturiranje ili zaduživanje
Oporezivanje	konzistentno sa novčanim tokovima	konzistentno sa novčanim tokovima	konzistentno sa novčanim tokovima	pre	pre	konzistentno sa novčanim tokovima
Struktura kapitala	tržišna	stvarna	uglavnom tržišna	stvarna ili tržišna	stvarna ili tržišna	stvarna ili ciljna
Cena duga	tržišna	stvarna	uglavnom tržišna	uglavnom stvarna	uglavnom stvarna	
Dodatne premije rizika	specifični rizik kompanije	specifični rizik kompanije iz ugla investitora	specifični rizik kompanije plus dodatna premija	specifični rizik kompanije	specifični rizik kompanije	specifični rizik kompanije plus dodatni rizici za pojedina scenarija

Pojedina prilagođavanja diskontne stope su jednostavna i svode se na izbor iznosa komponente (stvarna ili tržišna struktura kapitala, stvarna ili tržišna cena duga, uključivanje ili neuključivanje dodatne premije rizika). Kod oporezivanja je prilagođavanje nešto komplikovanije, tim pre što ono utiče i na beta koeficijent, prilikom korigovanja za zaduženost (opširnije o prilagođavanju beta koeficijenta videti u Milenković, 2011).

Naime, većina komponenti WACC, osim cene duga, utvrđena je empirijski na osnovu podataka koji podrazumevaju prinose posle oporezivanja. Stoga se u praksi uglavnom sreće ili preračunavanje pojedinačnih komponenata CoE i uzimanje cene duga pre poreza, pa potom obračun WACC ili izračunavanje WACC posle poreza i potom korekcija za porez. Oba postupka su aproksimativna i ne daju tačan rezultat, jer ne uzimaju u obzir dinamiku novčanih tokova, a time i dinamiku poreza. Jedini potpuno ispravan postupak je izračunavanje diskontne stope posle poreza, njena primena na tokove posle oporezivanja, a potom, na osnovu dobijene vrednosti, utvrđivanje WACC pre poreza (iterativnim postupkom).

4. PRIMER TELEKOMUNIKACIONE KOMPANIJE

Prethodna razmatranja ilustrovana su na primeru stvarne telekomunikacione kompanije. Kompanija posluje u više zemalja regiona, ali su u primeru prikazane diskontne stope koje se odnose na poslovanje u Srbiji. Datum procene bio je 31. decembar 2015. godine. Procena tržišne vrednosti kapitala i testovi obezvređenja za gudvil i sredstva bili su stvarni projekti, dok su procena investicione vrednosti i restrukturiranje prikazani ilustrativno.

Izvori podataka za komponente WACC bili su sledeći:

- r_f: prinos na AAA obveznice Centralne evropske banke, KPMG valuation e-room,
- β: uzorak uporedivih kompanija, Infinancials baza podataka,
- ERP: KPMG analiza,
- CRP: KPMG valuation e-room,
- SRP: KPMG analiza,
- r_D: NBS za tržišnu stopu, kompanija za stvarnu,
- D/E: uzorak uporedivih kompanija, Infinancials baza podataka za tržišni odnos, kompanija za stvarni.

Tabela 3. Diskontne stope telekomunikacione kompanije

	Procena tržišne vrednosti kapitala	Procena investicione vrednosti	Procena korporativnog brenda	Obezvređenje gudvila	Obezvređenje sredstava	Restrukturiranje
Stopa poreza na dobit	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Beta bez zaduženosti	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Beta korigovana za zaduženost	0,72	1,00	0,72	1,00	1,00	1,07
Odnos Pozajmljeni/Sopstveni kapital (D/E)	0,42	1,05	0,42	1,05	1,05	1,20
Učešće sopstvenog u ukupnom kapitalu E / (E+D)	0,70	0,49	0,70	0,49	0,49	0,45
Učešće pozajmljenog u ukupnom kapitalu D / (E+D)	0,30	0,51	0,30	0,51	0,51	0,55
Stopa bez rizika (Rf)	1,59%	1,59%	1,59%	1,59%	1,22%	1,59%
Tržišna premija rizika na vlasničke hartije	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%	6,50%
Rizik zemlje ulaganja	2,90%	2,90%	2,90%	2,90%	2,90%	2,90%
Specifični rizik kompanije	2,70%	3,5%	2,70%	2,70%	2,70%	2,70%
Dodatna premija rizika	0%	0%	2,00%	0%	0%	1,00%
Cena duga pre oporezivanja	5,17%	6,80%	5,17%	6,80%	6,80%	
Diskontna stopa posle oporezivanja	**9,62%**	**10,04%**	**11,02%**	**9,65%**	**9,47%**	**15,15%**
Diskontna stopa pre oporezivanja (direktna korekcija)				**11,35%**	**11,14%**	
Diskontna stopa pre oporezivanja (iterativni postupak)				**11,40%**	**11,05%**	
Primenjena diskontna stopa	**9,62%**	**10,04%**	**11,02%**	**11,40%**	**11,05%**	**15,15%**

Primer jasno pokazuje uticaj prilagođavanja pojedinih komponenti na konačnu stopu: struktura kapitala menja beta koeficijent, a takođe i konačno ponderisanje vrednosti. Dužina perioda projekcije menja stopu bez rizika (korisni vek sredstava iznosi 30 godina, pa je stopa prilagođena ovom periodu). Najzad, način prilagođavanja za oporezivanje takođe može da utiče na visinu diskontne stope, što može da bude značajno u analizi osetljivosti.

Kada se radi više analiza za istu kompaniju, potrebno je, osim logičke i računske kontrole komponenata, izvršiti i logičku kontrolu odnosa dobijenih stopa. Ako se dobijene stope posmatraju kao stope prinosa, logično je da sredstva imaju nižu stopu od kapitala, a da najvišu stopu prinosa imaju nematerijalna ulaganja (naravno, treba voditi računa da se porede odgovarajuće stope, u konkretnom slučaju stope posle oporezivanja, a ne primenjene stope).

5. ZAKLJUČAK

Procenjivačka praksa često nalaže da se za istu kompaniju radi više različitih procena, bilo da su u pitanju različiti predmeti procene ili različite svrhe procene (a time i definicije vrednosti). U takvim slučajevima potrebno je voditi računa da se izvrše sva neophodna prilagođavanja novčanih tokova, a potom i diskontne stope, kako bi se obezbedila njihova međusobna konzistentnost.

U radu su opisane specifičnosti novčanih tokova i diskontne stope za najčešće slučajeve predmeta i svrhe procene, najpre kroz pregled karakteristika, a potom i na primeru stvarne kompanije.

Posebno je značajno voditi računa o definicijama novčanog toka i prilagođavanju diskontne stope u slučajevima kada se procena ili test obezvređenja rade za potrebe izrade ili revizije finansijskih izveštaja, gde je, s jedne strane, potrebno slediti zahteve standarda, a s druge strane, obezbediti realistično i objektivno finansijsko izveštavanje.

LITERATURA

[1] Fernandez, P, *Valuation and Common Sense*, 5th edition, IESE Business School, University of Navarra Chapter 8 (http://ssrn.com/abstract=1620871), 2015.

[2] Međunarodni računovodstveni standard 36 – *Umanjenje vrednosti imovine*, zvanični prevod Ministarstva finansija, http://mfin.gov.rs/pages/article.php?id=10262

[3] Milenković, N, „Finansijski rizici u ceni kapitala“, *Zbornik radova SYM-OP-IS 2011*, Zlatibor, 4-7. oktobar 2011

[4] Milenković, N, „Najčešće greške u određivanju diskontne stope“, *Zbornik radova SYM-OP-IS 2012*, Tara, 24-28. septembar 2012

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF METHODS FOR ASSESMENT OF LOSS RESERVATIONS IN NON-LIFE INSURANCE

JELENA KOČOVIĆ[1], MIRELA MITRAŠEVIĆ[2],DEJAN TRIFUNOVIĆ[3]

[1] University of Belgrade, Faculty of Economics, kocovic@ekof.bg.ac.rs
[2] University of East Sarajevo, Faculty of Busuness Economics Bijeljina, mirela.mitrasevic@fpe.unssa.rs.ba
[3] University of Belgrade, Faculty of Economics, dejan@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Predmet analize ovog rada su karakteristike tri najčešće korišćene metode za ocenu rezervi za štete: metoda ulančanih lestvica, metoda očekivanog racija šteta i Bornhuetter-Ferguson-ovu metoda.Cilj rada je komparativna analiza rezultata dobijenih na bazi primene ovih metoda na praktičnom primeru uz isticanje njihovih prednosti i nedostataka.*

Ključne reči: *rezervisanje šteta, metoda ulančanih lestvica, metoda očekivanog racija šteta, Bornhuetter-Ferguson-ova metoda*

Abstract: *This paper analyses the characteristics of the three most commonly used methods for estimating loss reservations: the chain ladder method, the method of expected ratio of losses and Bornhuetter-Ferguson's method. The aim of the paper is a comparative analysis of the results obtained in the application of these methods in a practical case with the emphasis on their advantages and disadvantages.*

Keywords: *reserved claims, chain ladder method, method of expected ratio of losses, Bornhuetter-Ferguson's method.*

1. INTRODUCTION

Reservations for losses are exposed to significant variability due to the many risks that include imprecise estimates, changes in law or accidental variations. In addition, the use of inappropriate methods and assumptions can lead to inadequacy of estimated obligations and non-objective disclosure of insurance company's results. Such variability can have a significant impact on the stability of the insurer.

This paper presents three methods for estimating reservations for losses: the chain ladder method, the method of expected ratio of losses, and Bornhuetter-Ferguson's method. These are the oldest deterministic methods that still do not lose importance and have wide application in practice.

2. RESERVATIONS FOR LOSSES

Reservations for losses represent the estimated value of liabilities for unpaid claims at the date of settlement. The reasons for assessing the reservations for losses is the time mismatch between the moment of the loss occurrence, its registration to the insurer and the time when the final amounts of the claims for compensation, which have not been paid, are finally determined. The total reservations for losses include two categories: reserved reported unresolved losses and reserved unreported losses.

Reserved reported unresolved losses (case reserves) are the estimated amount required for the future payment of claims, which are reported to the insurer, as well as for covering reactive claims.

Reserved incurred but not reported losses (IBNR) are the estimated amount of reservations for incurred losses, that have not yet been reported, and in addition, these reserves also include future changes in the estimated amounts of known claims and reserves for unrecorded compensation requirements (Brown 2001).

The loss reservation process can be adequately applied only to grouped data. In order to obtain a valid conclusion for the future development of losses, data groups should be homogeneous.

The data must be grouped in such a way as to allow a comprehensive overview of the evolution of losses. One of the common ways of organizing data is a triangle of loss development, in which the number or the amount of resolved or total reported losses is represented. In the fifth part of the paper, an example of a triangle of incremental resolved losses is represented. In the columns of the triangle, the estimated values of successive groups of claims in a given development period are represented, while the diagonal elements represent the development of losses during the same calendar period (Berquist and Sherman 1977).

The starting point for the assessment of incurred but not reported losses (IBNR) is to study the dynamics of changes of the incurred losses. Determining the reserves for incurred but unreported losses is based on the study of data about losses and determining the factor of loss development for different time intervals. In order to facilitate the assessment, it is necessary that all data about losses and allocated costs for the settlement of losses be grouped with respect to the date of occurrence of the harmful event and the date of report (Mitrašević 2010). Particularly important information for the determination of IBNR reservations is the amount of losses that had occurred before the accounting period and that were reported and settled during the accounting period. In the literature, numerous methods are recommended, and in the following sections, we will explain the underlying assumptions of the chain ladder method, the method of expected ratio of losses, and Bornhuetter-Ferguson's method.

3. THE CHAIN LADDER METHOD

One of the oldest methods for estimating reserves for incurred undeclared losses, which is still commonly used, is the chain ladder method. The first step in determining the reserves for incurred unreported losses using the chain ladder method is the assessment of the loss development factor, which is determined on the basis of cumulative settled (reported) claims as follows:

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j}} \tag{1}$$

where:

$\hat{f}_j$ - estimate of the loss development factor

$C_{i,j}$- cumulative losses that have occured in i-th period, and that are settled (reported) until the end of j-th period

$$C_{i,j} = \sum_{h=1}^{j} D_{i,h} \tag{2}$$

$D_{i,h}$ – losses occured in i-th year settled (reported) in h-th year.

After the determination of the loss development factor for all development years, the amount of ultimate claims for the i-th period of loss occurrence is estimated:

$$\hat{C}_{i,n} = C_{i,j} \cdot \hat{f}_j \cdot \ldots \cdot \hat{f}_{n-1} \tag{4}$$

where:

$\hat{C}_{i,n}$ - estimate of the final cumulative amount of losses in the last (n-th) development period.

On the basis of estimated ultimate claims estimated reserves for losses for i-th year of loss occurrence (i=1,...,n;j=n-i+1) will be:

$$\hat{R}_i = \hat{C}_{i,n} - C_{i,j} \tag{5}$$

where:

$\hat{R}_i$ - estimate of total reserves for losses occured in i-th year if the estimate is based on the triangle of settled claims or reserves for incurred unreported losses if the estimate is based on the triangle of reported losses.

In the simplest form the chain ladder method consists of the ways of obtaining a forecast only for final losses, that is, the losses in the last observed year, and does not include the assessment of possible further loss development (tail factor).

For the assessment of final value of losses, the factor of possible further loss development (tail factor) is often used $\hat{f}_{ult} > 1$. By applying this factor, the final value of losses occured in i-th year - $\hat{C}_{i,ult}$ is:

$$\hat{C}_{i,ult} = \hat{C}_{i,n} \cdot \hat{f}_{ult} \tag{6}$$

where $\hat{f}_{ult} = \prod_{j=n}^{\infty} \hat{f}_j$.(Mack 1999)

The final tail factor is a result of individual assessment of actuaries about the future value of claims.

4. THE METHOD OF THE EXPECTED RATIO OF LOSSES

The main assumption of the method of expected ratio of losses is that certain types of insurance always exhibit a predictable ratio of losses. This ratio is multiplied by the invoiced annual premium to determine the estimated incurred losses in the year of insurance or multiplied by the earned premium in the calendar year in order to determine the estimated losses incurred in the year of the occurrence of the harmful event. (Chadick, Campbell and Seith, 2009).

The final cumulative losses for *i*-th year of occurrence according to the method of expected ratio of losses is estimated as follows (Jovović 2015):

$$\hat{C}_{i,n}^{LR} = E(s) \cdot \widetilde{P}_i \tag{7}$$

where:

$\widetilde{P}_i$ - earned premium in *i*-th period

$E(s)$ - predefined ratio of losses.

The key question for this method is how to choose the appropriate ratios for the given types or subtypes of insurance. There are many sources that can be used to predict the loss ratio:

- a) data on previous results for the given type of insurance;
- b) the assumptions used in the tariff determination process;
- c) experience of risk takers and employees in the sector of claims settlement.
- d) market statistics for similar types of insurance, if available.

The use of an external initial assessment of final claims has the objective of stabilizing the results.

However, it should be kept in mind that regardless of the source, even for types of insurance that have a stable loss ratios in previous years, it may happen that the loss ratio deviates considerably from the previous experience due to the presence of cycles in the insurance market and other economic impacts.

This method is suitable for use in cases where we do not have data on the development of losses, when data are insufficient or unreliable. The best examples are new types of insurance and types of insurance with a very long pattern of settling claims (Faculty and Institute of Actuaries 1997). The main critique of the method is that the assessment of total loss depends only on the premium and the loss ratio for a particular type of insurance, and completely ignores the development pattern of losses for the observed year of the loss occurrence.

5. BORNHUETTER-FERGUSON'S (BF) METHOD

For the incurred unreported losses Bornhuetter and Ferguson recommend a method that combines the method of expected ratio of losses and the method of development of settled/reported losses by the years of occurrence of the harmful event (Faculty and Institute of Actuaries 1997).

The final cumulative losses for the *i*-th year of occurrence according to the Bornhuetter-Ferguson's method are estimated as follows:

$$\hat{C}_{i,n}^{BF} = C_{i,j} + \hat{C}_{i,n} \cdot \left(1 - \frac{1}{F_j}\right) \tag{8}$$

where:

C_{ij} - settled (reported) losses until the date of assessment

F_j - cumulative factor of development of losses for *i*-th year of occurrence, from *j*-th development period until final period ($F_j = \hat{f}_j \cdot \ldots \cdot \hat{f}_{n-1} = \prod_{j=n-i+1}^{n-1} \hat{f}_j$).

$\hat{C}_{i,n}$ - estimate of final cumulative amount of losses from *i*-th period of occurrence.

The estimate of the final cumulative amount of losses starting from the *i*-th period of occurrence is determined by the method of the expected ratio of losses by multiplying the earned premium for that year with the expected ratio of losses.

In practice, an alternative way of determining and selecting the development pattern developed by Mack (2006) is used.

The Bornhiter-Ferguson method for the projection of expected losses based on the data about reported claims relies on the assumption that the remaining unreported losses are in relation with the total expected losses, not in relation with the reported claims. The expected losses used in this analysis are largely based on the previous years' ratio of losses and the business plan of a company (Actuarial Society 2016).

This technique proved to be appropriate for types of insurance with a significant deviation in the proportion of claims for reported losses in earlier development years, causing that the chain ladder method leads to unsatisfactory results. This category includes cases where losses are reported over a long period of time (10 years or more) and the proportion of reported claims in the first two to three years is small.

6. COMPARISON OF THE RESULTS

In the next part of the paper, a comparison of the results of the application of the chain ladder method, the method of expected ratio of losses, and Bornhuetter-Ferguson's method will be provided using the data on settled losses, earned premium and the reserves for the incurred reported losses grouped according to the year of occurrence.

Table 1: Input variables (currency units)

Year of occurrence of a loss	Development period of incremental losses						Earned premium $\widetilde{P}_i$	Reserves for incurred reported losses
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
2011	37.733,64	99.737,68	5.502,65	1.124,90	616,27	2.380,00	413.585,77	
2012	195.427,70	133.538,58	9.617,62	2.388,05	540,00		603.111,21	111
2013	232.390,26	158.795,95	10.712,01	1.323,85			746.310,98	222
2014	265.525,99	95.808,79	12.403,05				767.148,36	1.548
2015	179.618,60	129.875,03					773.350,47	8.279
2016	258.252,47						838.828,18	17.617

In the following 3 tables results of the application of the previous 3 methods are presented.

Table 2: Results of the estimation of loss reserves according to the chain ladder method (currency units)

Year of occurrence of a loss	Cumulative settled losses *Ci,j*	Selected cumulative factor of loss development $\prod_{j=n-i+1}^{n-1} \hat{f}_j$	Estimate of final amount of claims $\hat{C}_{i,n}$	Estimate of final ratio of losses $\hat{C}_{i,n} / \widetilde{P}_i$	Estimated total reserves for losses $\hat{R}_i$	Reserves for incurred reported losses	Reserves for incurred unreported losses
2011	147.095,14	1,00000	147.095,14	35,57%	0,00	0,00	0,00
2012	341.511,95	1,01645	347.128,49	57,56%	5.616,54	111,00	5.505,54
2013	403.222,07	1,01887	410.830,47	55,05%	7.608,40	222,00	7.386,40
2014	373.737,83	1,02445	382.874,67	49,91%	9.136,84	1.548,00	7.588,84
2015	309.493,63	1,05658	327.005,16	42,28%	17.511,53	8.279,24	9.232,29
2016	258.252,47	1,77330	457.958,08	54,59%	199.705,61	17.617,35	182.088,26
Σ	1.833.313,09		2.072.892,01	50,04%	239.578,92	27.777,59	211.801,33

According to the chain ladder the estimated total loss reserves (excluding the costs related to the assessment of claims) amount to 239,578.92 currency units.

In the following discussion, we will estimate total loss reserves according to the Bornhuetter-Ferguson's method and the method of the expected ratio of losses, where the final ratio of losses calculated on the basis of the chain ladder method is used as a preliminary estimate of the ratio of losses, which is corrected if necessary on the basis of personal actuarial assessment, based on the past experience. In both methods, in

contrast to the chain ladder method, the loss ratio in 2016 is corrected according to the previous five-year experience.

Table 3: Estimated reserves based on the expected loss ratio method (currency units)

Year of occurrence of a loss	Estimate of final ratio of losses according to chain ladder $\hat{C}_{i,n} / \widetilde{P}_i$	Selected ratio of losses $E(s)$	Estimate of final amount of claims $\hat{C}_{i,n}^{LR}$	Estimated total reserves for losses $\hat{R}_I^{LR}$	Reserves for incurred reported losses	Reserves for incurred unreported losses
2011	35,57%	35,57%	147.095,14	-		0,00
2012	57,56%	57,56%	347.128,49	5.616,54	111,00	5.505,54
2013	55,05%	55,05%	410.830,47	7.608,40	222,00	7.386,40
2014	49,91%	49,91%	382.874,67	9.136,84	1.548,00	7.588,84
2015	42,28%	42,28%	327.005,16	17.511,53	8.279,24	9.232,29
2016	54,59%	48,89%	410.064,87	151.812,40	17.617,35	134.195,05
	50,04%		2.024.998,81	191.685,72	27.777,59	163.908,13

According to the expected loss ratio method, the estimated total loss reservations (excluding the costs related to the assessment of claims for losses) after the correction of the estimated final loss ratio in 2016 amounts to 191,685.72 currency units.

Table 4: Estimated reserves for losses according to Bornhuetter-Ferguson's method (currency units)

Year of occurrence of a loss	Estimate of final ratio of losses according to chain ladder $\hat{C}_{i,n} / \widetilde{P}_i$	Selected ratio of losses $E(s)$	$1/\prod_{j=n-i+1}^{n-1} \hat{f}_j$	Estimate of final amount of claims $\hat{C}_{i,n}^{BF}$	Estimated total reserves for losses $\hat{R}_i$	Reserves for incurred reported losses	Reserves for incurred unreported losses
2011	35,57%	35,57%	100,0%	147.095,14	0,00	0,00	0,00
2012	57,56%	57,56%	98,4%	347.128,49	5.616,54	111,00	5.505,54
2013	55,05%	55,05%	98,1%	410.830,47	7.608,40	222,00	7.386,40
2014	49,91%	49,91%	97,6%	382.874,67	9.136,84	1.548,00	7.588,84
2015	42,28%	42,28%	94,6%	327.005,16	17.511,53	8.279,24	9.232,29
2016	54,59%	48,89%	56,4%	437.072,89	178.820,42	17.617,35	161.203,07
	50,04%			2.052.006,82	218.693,73	27.777,59	190.916,14

According to the Bornhuetter-Ferguson's method, the estimated total reserves for losses (excluding the costs related to the assessment of claims) after the correction of the estimated final ratio of losses in 2016 amount to 218,693.73 currency units.

Since each applied method results in a different amount of final losses, the actuary must decide which method provides the best estimate. An attempt to reconcile more different estimated values is extremely difficult. It is important to evaluate the results of each reservation method in order to determine the reasons for the differences between methods.

As it was previously mentioned, the method of the expected ratio of losses is the most appropriate for use in cases where we do not have development data, when the data are insufficient or unreliable. The chain ladder method is appropriate when there is a relatively stable pattern of loss development and a relatively large number of reported claims. Since this is not the case with our example where we have an uneven pattern of reported claims, Bornhuetter-Ferguson's method is more appropriate.

In the process of selection of development factors, the actuary should be able to assess the trend in the development pattern of losses. Seeking explanations for unusual, historical trends in the development of losses is critical for the estimation of reserves as the actuary has to assess whether situations that cause a different, unusual development of losses can affect future patterns. If an irregularity is detected in the pattern for individual years, the insurance company's activities need to be further analyzed in order to discover the reasons that could cause this anomaly.

Since the size of the loss depends on the risk of the business mix, the actuary who estimates the reserves should be related to the employees who work in the department responsible for risk assessment and who makes a decision on risk portfolio of insurance company. The mentioned department must receive feedback of the results from an actuary who assesses the reserves in order to properly correct its activities.

If the actual loss statistics related to the paid claims, the reserves for incurred reported and unresolved losses, reserves for incurred unreported losses and the number and amount of paid claims, do not coincide with the forecasted amounts, an additional analysis is needed. A retrospective reserve adequacy test (RUN-OFF analysis) can provide valuable information regarding the suitability of different methods in examining the adequacy of the reservations for losses.

5. CONCLUSION

In this paper, three methods for estimating loss reservations are presented and analyzed: the chain ladder method, the method of expected ratio of losses and the Bornhuetter-Ferguson's method, which under certain assumptions can provide an adequate assessment of the loss reserves. These three deterministic methods are based on the assumption that the pattern of losses in the past will continue in the future.

In order to ensure the adequacy of loss reserves, the above methods should be applied cautiously, respecting their advantages and disadvantages and combine them with subjective assessments of actuaries, based on their expertise and experience. In the process of estimating reservations, the actuary should provide an adjustment of the methodology to the characteristics of the insurer's business and external changes, which have a decisive influence on the size and frequency of the claims, in order to be able to identify the most appropriate method.

REFERENCES

[1] Actuarial Society E-Forum. (2016). Bornhuetter-Ferguson Initial Expected Loss Ratio, Working Party PaperCasualty, Fall.

[2] Berquist J. R. and Sherman R. E. (1977). "Loss Reserve Adequacy Testing: A Comprehensive Approach," Proceedings of the Casualty Actuarial Society, Volume 64.

[3] Brown R. L. and Gottlieb L. R.(2001). "Introduction to Ratemaking and Loss Reserving for Property and Casualty Insurance", ACTEX Publications.

[4] Chadick C, Campbell W and Knox-Seith F. (2009). Comparison of incurred but not reported (IBNR) methods, Society of Actuaries Health Section.

[5] Faculty and Institute of Actuaries. (09/1997). Claims Reserving Manual.

[6] Jovović, M. (2015) Merenje rizika pri utvrđivanju solventnosti neživotnih osiguravača. , doktorska disertacija, Ekonomski fakultet, Beograd

[7] Mack, T. (1999). "The Standard Error of Chain Ladder Reserve Estimates: Recursive Calculation and Inclusion of a Tail Factor." ASTIN Bulletin 29, no. 2:361-366.

[8] Mack, T. (2006). Parameter estimation for Bornhuetter/Ferguson. CAS Forum (Fall), 141–157.

[9] Mitrašević M.(2010). Aktuarska i finansijska analiza adekvatnosti kapitala kompanija za neživotna osiguranja, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet, Beograd

2017

PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA U REŠAVANJU PROBLEMA PREDVIĐANJA (PREDIKCIJE) INVESTICIONE VREDNOSTI

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO SOLVE PROBLEMS OF PREDICTIONS OF INVESTMENT VALUE

LJUBO MARKOVIĆ[1], LJILJANA MILIĆ MARKOVIĆ[2], VELIMIR DUTINA[3], MILJAN KOVAČEVIĆ[4]

[1] Fakultet tehničkih nauka, ljubo.markovic@pr.ac.rs
[2] Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, ljmilic@agfbl.or
[3] Fakultet tehničkih nauka, velimir.dutina@pr.ac.rs
[4] Fakultet tehničkih nauka, miljan.kovacevic@pr.ac.rs

Rezime: *U radu je prikazano kako se veštačke neuronske mreže mogu koristiti za predikciju investicione vrednosti kao dela multidisciplinarnog pristupa u procesu realizacije projekta rekonstrukcije železničkih pruga. Prikazan je proces funkcionisanja neuronskih mreža. Za proces predikcije korišćen je program za procenu investicione vrednosti urađen pomoću programskog paketa Matlab 2010 a sa Neuronet Toolbox-om. Za obuku i testiranje mreže korišćeni su prikupljeni podaci o projektovanim objektima. Dat je komentar rezultata procene investicionih vrednosti koji su dobijeni korišćenjem primenjenog programa.*

Ključne reči: *Veštačke neuronske mreže, Predikcija, Investiciona vrednost, Železnička infrastruktura, Matlab 2010.*

Abstract: *The paper shows how artificial neural networks can be used to predict the value of the investment as part of a multidisciplinary approach in the process of realization of the project of reconstruction of railway lines. Below is the process of functioning of neural networks. The program for assessing the value of the investment made by using a program package Metlab 2010 with a Neuronet Toolbox were used for the process of the prediction. The collected data about projected objects were used for network training and testing. The results of the assessment of investment value obtained using the applied program has been commented.*

Keywords: *Artificial Neural Networks, Prediction, Investment Value, Railway Infrastructure, Matlab, 2010.*

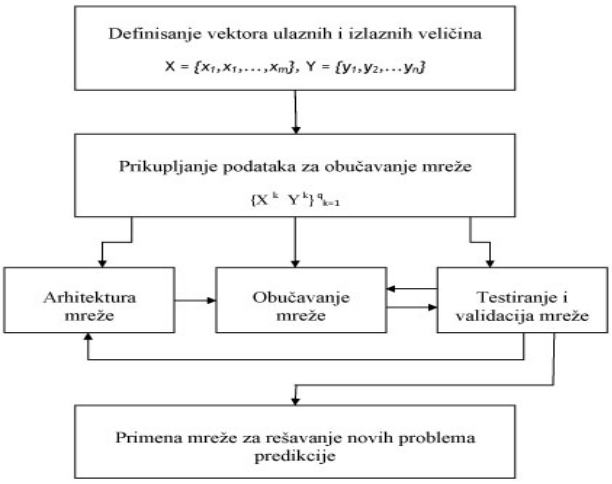
1. UVOD

Problemi predviđanja (predikcije) su problemi koji su veoma prisutni u građevinskoj praksi, naročito u slučajevima kada je potrebno predvideti, sračunati ili dimenzionisati određenu veličinu ili skup veličina na bazi vrednosti nekog drugog zadatog skupa veličina od kojih ove prve zavise. Predviđanje se najčešće koristi za rešavanje problema planiranja resursa u građevinarstvu.

Veštačke neuronske mreže sa propagiranjem greške unazad su veoma pogodne za rešavanje problema predikcije, pod uslovom da se obezbedi odgovarajući skup podataka za obučavanje mreže. Proces rešavanja sastoji se od nekoliko faza:

- Prva faza - definisanje ulaznih i izlaznih veličina mreže. Kod ove klase problema, izlazna veličina mreže je posmatrani vektor zavisnih promenljivih Y = $\{y_1,y_2,...y_n\}$, tj.vektor veličina koje želimo da proračunamo, a ulazne veličine mreže su nezavisne promenljive posmatranog problema X = $\{x_1,x_2,...,x_m\}$, čije promene vrednosti utiču na promenu vrednosti izlaznih veličina.
- Druga faza - prikupljanje skupa podataka za obučavanje mreže. Skup podataka mora da bude dovoljno veliki i da sadrži sve potrebne informacije kako bi mreža mogla da nauči što više primera. Potrebno je da podaci budu što raznolikiji da bi se mreža obučila sa što većim brojem različitih primera kako bi se što više smanjio osnovni problem koji se javlja kod obuke neuronskih mreža a koji se naziva pretreniranje (overfitting).

- Treća faza - izgled (arhitektura) mreže, obučavanje i testiranje mreže. Arhitektura mreže direktno zavisi od broja ulazno-izlaznih veličina, kao i kompleksnosti funkcionalne zavisnosti između posmatranih veličina. Broj ulaznih čvorova u mreži je jednak broju nezavisnih veličina, a broj izlaznih čvorova iz mreže je jednak broju definisanih zavisnih veličina. Veći problem predstavlja odrediti optimalni broj neurona u svakom skrivenom sloju. Neuronske mreže sa dva skrivena sloja mogu predstaviti funkcije svih tipova i oblika i nema teorijskog opravdanja koristiti mreže sa više od dva sloja. U većini praktičnih primena dovoljan je samo jedan sloj. Proces obučavanja podrazumeva nalaženje odgovarajućeg skupa težinskih koeficijenata mreže. Proces obučavanja je završen tek kada greška ima vrednost koja je ispod unapred zadatog praga. Obučavanje mreže se može vršiti primenom standardnog algoritma sa opadajućim gradijentom ili primenom nekog od algoritama iz klase numeričkih ili heurističkih algoritama, u slučaju da standardni algoritam ne daje zadovoljavajuće rezultate. Ukoliko postoji dovoljno veliki skup za obučavanje, unapred se može podeliti na skup za obučavanje i skup za testiranje mreže.
- Četvrta faza - primena mreže za rešavanje novih problema. To je poslednja faza koja podrazumeva primenu mreže za nalaženje odgovarajućeg skupa vrednosti vektora izlaznih veličina $Y^p = \{y^p_1, y^p_2, ... y^p_n\}$, p = 1,2...,P, za zadati skup novih vrednosti ulaznog vektora $X^p = \{x^p_1, x^p_2, ..., x^p_M\}$, p = 1,2...,P. Postupak proračuna izlaznog vektora Y^p je jednostavan i direktan nakon sračunatih težinskih koeficijenata mreže.



Slika 1: Šema modela za rešavanja problema predviđanja (predikcije) primenom veštačkih neuronskih mreža sa propagiranjem greške unazad (Izvor: *Golić, 2007*)

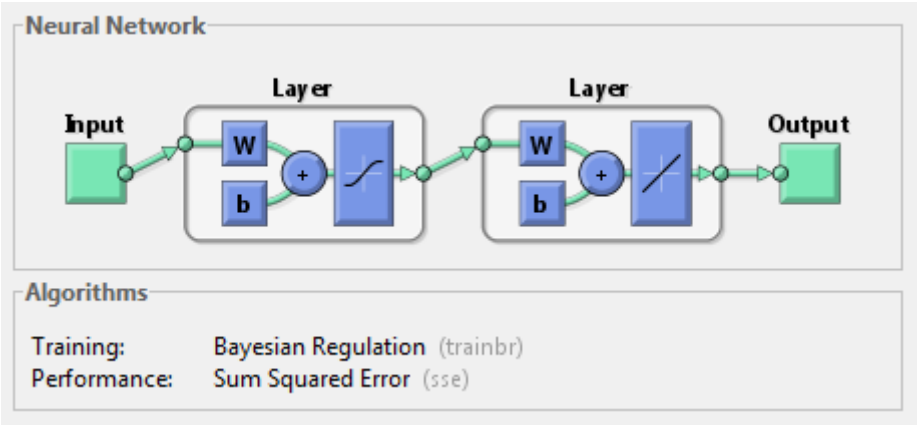
2. UPRAVLJANJE PROJEKTOVANJEM REKONSTRUKCIJE

Upravljanje projektovanjem rekonstrukcije železničkih pruga posebno dobija na značaju u uslovima kada na odvijanje realizacije projekta bitno utiče formiranje finansijske strukture projekta, posebno u zemljama koje nemaju sopstvena sredstava za izgradnju velikih infrastrukturnih objekata, već sredstva moraju da traže na tržištu kapitala. Jedan od najodgovornijih upravljačkih poslova je procena investicione vrednosti projekta. Od kvaliteta te procene zavisi i odluka da li da se projekat odobri ili započne. Za dobru i kvalitetnu procenu investicione vrednosti potrebno je sagledati okolnosti u kojima se projekat realizuje. S tim u vezi, treba istaći neraskidivu povezanost procene troškova izgradnje novog objekta i analize troškova prethodnih objekata. Takođe, neophodno je da se obezbede preduslovi za procenu troškova – ulaganja u kontinuirano istraživanje tržišta, optimalna organizaciona struktura, kvalitetan informacioni sistem i sistemsko dokumentovanje inovacija u oblasti građevinskih materijala i tehnoloških postupaka.

3. IZRADA MODELA ZA PROCENU (PREDIKCIJU) INVESTICIONE VREDNOSTI

Za potrebe izrade modela za predikciju investicione vrednosti prikupljeni su podaci o izradi investiciono tehničke dokumentacije za potrebe izvođenja radova na rekonstrukciji železničkih pruga na teritoriji

Republike Srbije u periodu 2000-2011. Prikupljeni su podaci sa 19 izvedenih projekata. Kao uzorak za obuku poslužilo je 16 urađenih projekata, a tri su izabrana kao uzorak za proveru predikcije. S obzirom na jako mali broj objekata ove vrste koji je projektovan, a još manji koji je izveden, veliki problem je bio pronaći validne podatke za pravljenje bilo kakvog prognoznog modela za predviđanje inesticionih vrednosti rekonstrukcije i modernizacije železničkih pruga na osnovu prethodno realizovanih projekata.
Postupak analize je podeljen u dva dela. Za prvi deo analize kao ulazni parametri korišćeni su podaci koji se odnose na dužinu pruge koja prolazi kroz stanice, dužinu pruge koja se rekonstruiše, dužinu pruge koja se gradi kao nova deonica, inženjersko-geološke osobine terena kroz koji pruga prolazi, dužinu objekata duž trase pruge (sve izraženo u procentima), broj koloseka na pruzi kao i stanje elektro-energetskih postrojenja u koridoru pruge. U drugom delu analize kao ulazni parametri korišćeni su podaci koji se odnose na dužine objekata duž trase pruge (sve izraženo u procentima) i broj arhitektonskih objekata u stanicama sa određenim bonitetom. Ulazni podaci prikazani su u tabelama 1 i 2.
Zbog velikog broja podataka na ulazu i izlazu, korišćena je mreža sa jednim skrivenim slojem od 15 neurona koji imaju *tansig* prenosnu funkciju, dok izlazni sloj neurona koristi *linearne* prenosne funkcije. Varijacije broja neurona u srednjem sloju, kao i broja slojeva, nisu imale većeg uticaja na kvalitet ponašanja mreže. Topologija ove mreže prikazana je na slici 2.



Slika 2: Topologija mreže

Mreža sa dva skrivena sloja bila bi prikladnija u smislu tačnosti od one sa jednim slojem. Međutim, one su podložnije „*overfiting*“-u od onih sa jednim slojem što predstavlja značajan problem zbog malog broja uzorka za obuku. U slušaju da se pojavi potreba za predikciju troškova za prugu čiji ulazni parametri odstupaju značajnije od bilo kog slučaja koji je korišćen u obuci mogu se očekivati značajna odstupanja.

Kao izlazni podaci prvog dela analize dobijaju se investicione vrednosti (u evrima po kilometru pruge) koje se odnose se na prethodne radove, zemljane radove, gornji stroj pruge, hidrotehničke objekte, opremu pruge, elektro-energetska postrojenja, signalno-sigurnosna postrojenja i uređaje, telekomunikaciona postrojenja i uređaje, devijacije drumskih saobraćajnica, uređenje putnih prelaza, pristupne puteve stanicama i stanične platoe.
Izlazni podaci drugog dela analize su investicione vrednosti (u evrima po kilometru pruge) za objekte duž trase pruga (mostovi, podvožnjaci, nadvožnjaci, zaštitne i potporne konstrukcije, tuneli, remize, ostale inženjerske konstrukcije), arhitektonske objekte (stanične zgrade, objekti i oprema u staničnim zgradama, peroni, nadstrešnice, magacini, magacinske rampe, manipulativni prostor, otvorena i zatvorena skladišta za smeštaj robe, kolske vage, pretovarne mehanizacije za određene transportne tehnologije, objekti za potrebe elektrifikacije i osiguranja pruge SS i TK, PS i EVP i dr), ostale objekte i radove vezani za zaštitu životne sredine i sl. Iz ovih analiza troškova pruge izuzeta je cena za eksproprijaciju zemljišta i objekata.

Tabela 1: Podaci koji su korišćeni za obučavanje neuronske mreže

Broj pruge (pružne deonice)	Dužina pruge (pružne deonice) u km	Jednokolosečna/ Dvokolosečna Pruga (pružna deonica)	Dužina pruge (pružne deonice) koja prolazi kroz stanice u %	Dužina izgradnje nove pružne deonice u %	Dužina pruge (pružne deonice) koja se rekonstruiše u %	Dužina pruge (pružne deonice) koja prolai kroz inženjersko geološki povoljne terene u %	Dužina pruge (pružne deonice) koja prolai kroz inženjersko geološki uslovno povoljne terene u %	Dužina pruge (pružne deonice) koja prolazi kroz inženjersko geološki uslovno nepovoljne terene u %	Stanje elekto energetskih postrojenja u koridoru pruge (ocena*)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4.6	1	0.06304	0	1	0.782609	0.217391	0	0
2	20.75	1	0.00000	1	0	0.498795	0.501205	0	0
3	21.97	1	0.00000	1	0	0.471097	0.528903	0	0
4	10.22	2	0.00000	1	0	0.089041	0.88454	0.036204	3
5	6.8	2	0.14265	0.332353	0.654412	0.132353	0.867647	0	3
6	94	2	0.14234	0.761702	0.238298	0.691489	0.244681	0.06383	0
7	220.49	2	0.12200	0.499342	0.499297	0.642932	0.351717	0.005352	3
8	155.56	1	0.12754	0	1	0.713294	0.273849	0.01305	3
9	12	2	0.00000	1	0	0.136667	0.863333	0	1
10	41.55	2	0.10758	0.386282	0.613718	0.665463	0	0.334537	3
11	149.16	2	0.16506	0.712725	0.287275	0.558193	0.41432	0.027487	3
12	32.55	1	0.05622	0	1	0.619048	0.380952	0	3
13	148.47	2	0.17000	0.2	1	0.2	0.7	0.06	2
14	100.92	2	0.16000	0	1	0.4	0.5	0.147543	2
15	17.38	1	0.07546	0	1	0.31	0.7	0	0
16	76.07	2	0.12	0.50000	0.5	1	0	0	3

*(0-ne elektrificirana pruga;1- zadovoljava, 2- delimično zadovolava, 3- ne zadovoljava u pogledu pouzdanosti, raspoloživosti i mogućnosti održavanja i bezbednosti)

Tabela 2: Podaci koji su korišćeni za obučavanje neuronske mreže

Broj pruge (pružne deonice)	Dužina betonskih mostova u %	Dužina čeličnih mostova u %	Dužina podvožnjaka u %	Dužina nadvožnjaka u %	Dužina galerija/ potpornih zidova u %	Dužina vijadukata u %	Dužina jedno kolosečnih tunela u %	Dužina dvo kolosečnih tunela u %	Broj objekata boniteta *	Broj objekata boniteta **	Broj objekata boniteta ***	Broj objekata boniteta ****
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0.031556	0.00411	0.006947	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.017021	0	0.001436	0.017149	0	0	0.024734	0	5	2	3	1
7	0.007728	0.009688	0.000712	0.024423	0.000544	0.004399	0	0.046397	3	12	3	0
8	0.002585	0.008023	0.00112	0.031749	0.000225	0	0.006782	0	2	12	3	2
9	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.000931	0	0.002474	0.002001	0.005209	0.128568	0.053878	0	0	4	0	0
11	0.045086	0	0.000302	0.013509	0.00067	0	0.016647	0	0	5	2	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0.0021	0.005	0.0006	0.0006	0	0.017	0	0.012	0	16	0	2
14	0.0004	0	0.0007	0.04	0	0	0	0	1	4	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
16	0.009	0.007	0.001	0.03	0	0.01	0.05	0.05	1	4	1	1

4. ANALIZA REZULTATA

Kontrola prognoznih modela izvršena je na skupu koji nije korišćen za obuku. Za analizu rezultata korišćeno je odstupanje (greška) između stvarne i prognozne vrednosti. U tabelama 3 i 4 prikazani su rezultati dobijeni primenom prognoznog modela za predviđanje investicione vrednosti po kilometru pruge za pojedine vrste radova (kolone 1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21 i 23) kao i stvarne investicione vrednosti po kilometru pruge po pojedinim grupama radova (kolone 2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22 i 24). U kolonama 25 i 26 prikazani je ukupna investiciona vrednost po kilometu pruge dobijena primenom prognoznog modela i stvarna.

Tabela 3: Rezultati dobijeni primenom prognoznog modela

	Investiciona vrednost za prethodne radove u evrima		Investiciona vrednost za zemljane radove u evrima		Investiciona vrednost za gornji stroj u evrima		Investiciona vrednost za hidrotehničke objekte (radove) u evrima		Investiciona vrednost za objekte duž trase pruge u evrima		Investiciona vrednost za opremu pruge u evrima		Investiciona vrednost za elektro-energetska postrojenja u evrima		Investiciona vrednost za SS postrojenja i uređaje u evrima		Investiciona vrednost za TT postrojenja i uređaje u evrima	
	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3,442.73	2,232.46	193,75579	200,11404	737,10219	724,988.11	12,318.72	11,630.99	445,496.35	444,959.37	2,508.19	2,500.99	171,46726	158,541.40	116,54630	111,37535	23,447.85	22,260.21
2	8,254.30	8,837.74	170,38423	161,76640	324,53022	337,071.35	224,471.26	235,356.73	135,665.89	136,075.95	2,634.70	2,589.18	176,245.16	174,338.22	495,611.06	490,506.33	126,732.95	127,623.71
3	69,491.56	71,737.87	392,35470	379,308.53	921,48448	923,314.05	60,894.26	52,696.20	1,760,483.89	1,976,764.30	1,370.34	1,205.47	324,412.39	298,540.82	406,124.06	387,800.71	71,060.90	63,461.29

Tabela 4: Rezultati dobijeni primenom prognoznog modela

	Investiciona vrednost za drumske saobraćajnice duž trase pruge, putne prelaze i stanične trgove u evrima		Investiciona vrednost za arhitektonske objekte u evrima		Investiciona vrednost za ostale radove u evrima		UKUPNO	
	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.	Progn. vrednost	Prema Proj.
	19	20	21	22	23	24	25	26
1	311,233.13	311,018.69	124,225.43	124,222.16	24,674.25	22,970.67	3,442.73	2,232.46
2	109,164.47	108,319.91	109,696.38	109,749.71	24,729.44	24,706.56	8,254.30	8,837.74
3	315,987.73	276,369.13	68,495.92	65,819.64	35,727.21	30,306.30	69,491.56	71,737.87

Odstupanja predviđenih investicionih vrednosti dobijenih primenom prognoznog modela od stvarne investicione vrednosti prikazane su u tabeli 5.

Tabela 5: Rezultati dobijeni primenom prognoznog modela

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Br.	Prethodni radovi	Zemljani radovi	Gornji stroj	Hidrotehnički objekti (radovi)	Objekti duž trase pruge u evrima	Oprema pruge	Elektro-energetska postrojenja	SS postrojenja i uređaji	TT postrojenja i uređaji	Drumske saobraćajnice duž trase pruge, putni prelazi i stanični trgovi	Arhitektonski objekti	Ostali radovi	Ukupno
1	54.21	-3.18	1.67	5.91	0.12	0.29	8.15	4.64	5.33	0.07	0.00	7.42	1.38
2	-6.60	5.32	-3.72	-4.62	-0.30	1.76	1.09	1.04	-0.70	0.78	-0.05	0.09	-0.46
3	-3.13	3.44	-0.20	15.56	-10.94	13.65	8.67	4.72	11.98	14.33	4.07	17.87	-2.20
Prosečno odstupanje													
	14.83	1.86	-0.75	5.62	-3.71	5.23	5.97	3.47	5.54	5.06	1.34	8.46	-0.43

U koloni 13 data su odstupanja ukupne investicione vrednosti za rekonstrukciju i modernizaciju pruge prema prognoznom modelu u odnosu na ukupnu investicionu vrednost prema projektu u procentima. Negativne vrednosti u tabeli označavaju da je prognozirana investiciona vrednost radova manja od investicione vrednosti prema projektu.
Analizirajući dobijene podatke prikazane u tabelama 3, 4 i 5 zaključujemo da za eventulane grube i brze procene investicionih vrednosti moguće je koristiti treniranu neuronsku mrežu sa pouzdanošću od 80-85%.

5. ZAKLJUČAK

U procesu projektovanja rekonstrukcije železničkih pruga procena investicione vrednosti je važan deo koji predstavlja osnovu za donošenje odluka o daljim ulaganjima u železničku infrastrukturu. Za procenu investicione vrednosti pored standardnih procedura, mogu se koristiti i veštačke neuronske mreže koje pokazuju efikasnost u pogledu rešavanja problema koji su vezani za procenu investicionih vrednosti prilikom realizacije projekata rekonstrukcije železničkih pruga.
Koristeći prikupljene podatke iz realizovanih projekata rekonstrukcije železničkih pruga kao ulazne veličine, uz upotrebu savremenih metoda operacionih istraživanja – veštačkih neuronskih mreža, formiran je prognozni model za procenu investicione vrednosti. Nakon obučavanja izvršeno je upoređenje rezultata predikcije sa podacima za koje mreža nije tretirana i dobijeni rezultati su pokazali zadovoljavajuću tačnost (80-85%). Preciznije podatke o investicionim vrednostima moguće je dobiti tek kad se uključi veći broj ulaznih parametara sa kojima bi se opisali zahtevi, pod uslovom da je baza podataka urađenih projekata i izvedenih objekata dovoljno velika.
Primena navedenog modela doprinosi formiranju novog pristupa rešavanju problematike procene investicionih vrednosti, a sa ciljem efikasnog i efektivnog donošenja odluka o ulaganju u projekte rekonstrukcije železničke infrastrukture.

Literatura

[1] Adeli, H. (2001). Neural Networks in Civil Engineering: 1989-2000. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 16, 126-142.

[2] Golić, K. (2007). Planiranje resursa u građevinarstvu primenom veštačkih neuronskih mreža i integrisanih fuzzy neuronskih sistema. Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd.

[3] Gurney, K. (1999). An Introduction to Neural Networks, Computer Science.

[4] Haykin, S. (2005). Neural Networks, Prentice Hall, New Jersey.

[5] Marković, Lj., Milić Marković, Lj. (2011). Veštačke neuralne mreže i njihova primena u građevinarstvu, XXXVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYMOPIS, Tara, 205-208.

[6] Milić Marković, Lj., Marković, Lj.(2010). Ciljevi rekonstrukcije i metodologija za projektovanje železničkih pruga, Izgradnja, 9-10, 536-552.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

APPLICATION OF SCORING MODEL IN MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN THE SELECTION OF DIGITAL CAMERA FOR ASTRONOMICAL OBSERVATIONS OF THE NIGHT SKY

MILOŠ MARKOVIĆ[1], MARKO STANKOVIĆ[2]

[1]University college of professional studies for civil engineeringc and geodesy in Belgrade, Belgrade, milosmarkovic@vggs.rs
[2] Geodetic technical school, Belgrade, stankovic.d.marko@gmail.com

Abstract: *In the astronomical observation of the night sky, high-resolution digital cameras are increasingly used. The enhancement of camera and lens features allows high-quality high-resolution photos that allows collecting a large amount of data for specifical phenomenons in astronomy. Since there is a wide range of digital cameras of different characteristics on the market, the question of choosing the optimal camera in terms of price-quality ratio is often raised. Therefore, in this paper, the choice of the optimal camera is considered using the multi-criteria analysis, in particular the Scoring Model as one of the methods of the same.*

Keywords: *Scoring model, Multi-criteria decision making, Digital camera, Astronomy.*

1. INTRODUCTION

In modern astronomy and astrophysics, the development of digital photography has resulted in the collection of a large number of diverse data on observed phenomena and objects. The use of cameras with modern optical systems and light-sensitive sensors in astronomy has made the possibility of collecting light signals of sufficient magnitude, which can be measured and recorded. The division of optical systems used in astronomy is made on the basis of telescopes and types of their accessories, while in the case of measuring cameras, a division can be made based on the types of lenses and light sensors.

Anyway, a large selection of systems with different charactersitics complicates the choice of apparatus in astronomical observations. In order to find an optimal solution, it is useful to apply some of the multi-criteria decision models. Therefore, in this paper, an example of the application of the multi-criteria decision model is presented, specifically the Scoring model for choosing an optimal digital camera.

2. SENSORS USED IN DIGITAL PHOTOGRAPHY

Two types of sensors are used in digital photography, CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) and CCD (Charge Coupled Devices). Both sensors have somewhat different work methods and settings, so they have advantages and disadvantages for certain purposes.

So far, in general, there was little favoritism to the use of CCD sensors in the astrophotography. This is due to the good performance of the sensor in the signal-to-noise ratio. This makes them more precise for longer exposure duration. However, CMOS devices, though generally have a much faster read-in time, are much younger than CCD devices, so development and improvement of CMOS technology is much faster [1].

The first question that arises is choosing a camera based on sensor type. With different sensor sizes, which can range from several square millimeters to several thousand square millimeters, the number of possibilities offered by manufacturers becomes confusing.

Fifteen years ago, CCD sensors were used for high-end professional systems because they produce high-quality images with less noise, but are therefore sensitive to the so-called blooming (overflow of surplus energy). CMOS sensors are appreciated for the convenience of manufacturing and application, they consume up to 100 times less energy and are cheaper for production. Nowadays, the differences are smaller due to the improvement of both technologies. So now CMOS technology is also found in top professional cameras, and CCD sensors consume less energy, with the price in both cases proportionally decreasing with production growth [2].

There are three types of sensors [2]:

- Baier mosaic - sensor with RGB filters,

- SuperCCD - a sensor with two sizes of light-sensitive pixels, smaller R-pixel for illumination and larger S-pixel with Baier mosaic for color resulting in greater dynamics and
- Foveon sensor - a sensor that imitates classic film, each pixel has a RGB filter and has three layers resulting in better colors.

In addition to the advantages and disadvantages of the above mentioned systems, the basic concept is to find the optimal ratio between the invested and obtained in the meaning of the quality of the image. So, an important parameter of the system is the method of data processing of data collected through the sensor. In other words, whether the system creates a good quality images while processing sensor data [2].

3. MULTI-CRITERIA ANALYSIS

Problems of finding the optimal solution, that is, tasks of optimization, are met and solved in everyday life. They are found almost everywhere, in technical and economic systems, in the family, the company, the sports club, etc. The decision-making process and the choice of "best" alternative are usually based on more than one criterion and a set of constraints.

In all these tasks, man's implicit endeavor is to find a solution that sufficiently satisfies his desires, a solution that gives him the greatest benefit without violating certain restrictions that exist. Unfortunately, such problems (known as multi-criteria optimization) do not have a single and global solution, that is, there is no alternative solution that is optimal for each criterion at the same time. The fact is that some of them, in almost all decision-making issues, are partially or completely mutually opposed. In addition, the criteria considered can, by their very nature, be very diverse and expressed in different units from monetary units, through units of physical quantities to probabilities or subjective estimates given on a scale that is formed for a specific problem. All this indicates that a final single solution can not be determined without the participation of the decision maker. The decision maker should ultimately adopt a solution. The solution accepted by the decision maker is called the best or preferred solution. The task of multi-criteria optimization is to help the decision-maker choose the solution he considers best in the given conditions. Therefore, efforts to solve the set multi-criteria problem are often called multicriteria analysis [3].

In the multi-criteria analysis, the final set A of alternatives A_i are observed ($A_i \in A$). Every alternative is evaluated with a number of criteria K_i, so there is a set of criteria K for one alternative solution ($K_j \in K$).

The values of the alternatives and criteria are often arranged in the matrix. Values w_i representing weight of the criteria and x_{ij} representing value of the i-th alternative according to the j-th criterion are defined. Depending on the nature of criteria, values of x_{ij} can be in form of numbers or some linguistic statement. One of the problem with multi-criteria analysis is subjectivity. For example, assigning weights for criteria is strictly subjective.

There are several methods of multi-criteria analysis such as: Vikor, PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation), ELECTRE (ELimination Et Choice Translating REality), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), SAW (Simple Additive Weighting Method), Scoring model, Hurwicz, max-max, min-min etc. For the purpose of the work, the Scoring model is used. This model is realized through five phases [4]:

- I phase - defining a list of criteria to be considered when deciding,
- II phase - assigning adequate weights w_i (i – number of criterion) for each individual criterion to show their relative importance,
- III phase - determining the measure r_{ij} (i – number of criterion, j – number of alternative solution) of each individual criterion that should express the level of quality with which the considered alternative meets the specific criterion,
- IV phase - calculating the specific score S_j (j – number of alternative solution) for each alternative solution and
- V phase - ranking of the considered alternative solutions according to the Scoring model from the highest to the lowest value, which determines their hierarchical order, so an alternative solution with the highest value is recommended for application.

4.1 DIGITAL CAMERA CHARACTERISTICS

For the purposes of astronomical observation, it is necessary to define a list of important characteristics of digital cameras. These characteristics are subsequently taken into consideration by the method of multi-criteria analysis, and the final assessment is directly linked to a good selection of criteria. Based on the experience in working with digital cameras and consulting with experts, it is possible to make a relatively objective selection of criteria for analysis. The following sections give a brief description of the characteristics used in the

research. It is important to note that the characteristics such as the focal distance and the aperture size are in fact the characteristics of the lens, so they will not enter into further analysis. This is because different cameras are used in the work, and the same lens is mounted on each one, so the focal distance and aperture size can be considered constant.

Resolution represents the total number of pixels to which the image is divided. Pixel represents the smallest part of one image. Resolution is expressed in millions of pixels (megapixels). Today, cameras with a resolution of over 20MPs up to 50MP are in use. However, besides the resolution, there are a huge number of important camera characteristics that determine the quality of the image. It may happen that two cameras have the same resolution (have the same number of megapixels), but one camera has a sensor significantly larger than the other (in terms of dimension). This means that the size of the pixel will depend on the size of the sensor, since the same number of pixels must be allocated to the different surface of the sensor. Based on the dimensions of the sensor, it is possible to determine the size of the pixel, so it is logical that the pixels arranged on the smaller surface sensor will be smaller (comparing cameras with the same number of pixels). Even with a different number of pixels, the size of the sensor can affect the quality. For example, if you take Canon EOS 6D and Canon EOS 7D Mark II camera models, both of 20MP, it can be said that the quality of the photo is the same. However, the size of the sensor at 6D is 35.8x23.9mm, while at 7D it is 22.4x15mm. It means that sensor at 6D is 2.3 times larger in total sensor area, or 50% larger in linear width than at 7D. Consequently, the pixel size is lower for 7D, which increases the quality of the image. Based on the above, it can be concluded that the size of the sensor is a very important factor in image quality.

Exposure is the amount of the light per unit area reaching a sensor of the camera. It is determined by the aperture size, shutter speed and ISO sensitivity. Aperture size controls the area over which light can enter camera. Shutter speed controls duration of the exposure. Finally, ISO sensitivity controls the sensitivity of camera's sensor to a given amount of light. The exposure duration depends on the type and purpose of the photo. For astronomical observations, a longer exposure duration is needed (longer exposure time). But, this might result in poor quality if the corresponding aperture size is not set as well as the ISO value. The most appropriate way of determining these parameters is a test. Exposure duration can range from 30 second to 1/8000 second. By using the extra accessories (bulb), it is possible to manually define the exposure time.

The default image format is JPEG format. This format represents a compressed photo with losses on quality. It is mostly used for small memory needs. However, this image format is not satisfactory for the needs of astronomical observations, therefore the choice of RAW format is justified. RAW image format saves all data in a photo without compression, the amount of detail is significantly larger than that of the classic JPEG format. The lack of RAW format is a large memory requirement, which requires high-capacity memory cards. There are several types of memory cards. Most cameras support SD (Secure Digital) or SDHC (Secure Digital High Capacity) cards with a capacity of up to 32GB. Newer variants are SDXC (Secure Digital Extented Capacity) cards up to 2TB, but prices are significantly higher. In addition to SD, SDHC and SDXC, some cameras also support older Compact Flash cards of series 1 and 2. However, the ratio price-memory capacity is poor, and, cameras supported by this type of card only, can be considered as a bad choice for astonomy.

Another very important characteristic is a processor for image processing. This is a special digital signal processor used for image processing in digital cameras. It can perform a wide range of tasks like, processing colors on the image sensor (pixel color assignment using Bayer filter), demosaicing (producing appropriate color and brightnes value for the pixel), noise reduction, image sharpening, etc. Noise reduction is very interesting process tightly connected with the ISO sensitivity. With the use of difference processors, signal-to-noise ratio can be different. So if, for example, one camera has DIGIC 2 and the other DIGIC 5+ Canon image processor, same value of ISO will not give the same signal-to-noise ratio. This is due to better performance of the DIGIC 5+ image processor. So, the model of the processor is also important characteristic of digital cameras.

5. RESEARCH RESULTS

For the purpose of research Canon brand digital cameras were used. The authors chose this particular brand because of market availability as well as experience in working with this camera brand. Given the wide range of lens offers and features of the same, the objectivity of selecting the camera if each camera had a different lens could be questionable. Therefore, the same lens was placed on each body of the camera. It has been experimentally determined that a lens with fixed focal length of 35mm (the so-called Prime lens) and a f/3 aperture size, provide the clearest photos of the night sky.

When choosing a digital camera, the limiting factor is the type of sensor. The types of sensors can be CMOS or CCD as explained in the previous chapters. Based on their characteristics, CMOS sensors nowdays provide significantly higher quality photos than a camera with CCD sensors, which is the reason for larger offer of the

digital camera with CMOS sensor in the market. Therefore, only cameras with CMOS sensors were taken into consideration.

For the alternative solution, 9 models of digital cameras of the Canon EOS series have been defined:

- A1 – 550D,
- A2 – 600D,
- A3 – 1200D,
- A4 – 5D Mark I,
- A5 – 5D Mark II,
- A6 – 5D Mark III,
- A7 – 6D,
- A8 – 7D Mark I and
- A9 – 7D Mark II.

Criteria that were selected are: resoultion, exsposure, ISO sensitivity, sensor size, image processor, record format, memory type and price.

Table 1 shows alternative solutions with basic characteristics classified by criteria. This concludes the first phase of the procedure.

Table 1: Alternative solutions and characteristics

Criteria	550D	600D	1200D	5D Mark I	5D Mark II	5D Mark III	6D	7D Mark I	7D Mark II
Resolution	18MP	18MP	18MP	12.8MP	21.1MP	22.1MP	20MP	18MP	20MP
Exposure	30-1/4000s	30-1/4000s	30-1/4000s	30-1/8000s	30-1/8000s	30-1/8000s	30-1/4000s	30-1/8000s	30-1/8000s
ISO sensitivity	100-6400	100-12800	100-12800	50-3200	100-25600	100-102400	100-25600	100-12800	100-16000
Sensor size	22.3 x 14.9mm	22.3 x 14.9mm	22.3 x 14.9mm	35.8 x 23.9mm	36 x 24mm	36 x 24mm	35.8 x 23.9mm	22.3 x 14.9mm	22.4 x 15mm
Image processor	DIGIC 4	DIGIC 5	DIGIC 4	DIGIC 2	DIGIC 4	DIGIC 5+	DIGIC 5+	DIGIC 4	DIGIC 6
Record format	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG	RAW, JPEG
Memory type	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	Compact Flash 1 i 2	Compact Flash 1 i 2	Compact Flash, SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	Compact Flash 1 i 2	Compact Flash, SD, SDHC, SDXC
Price	600e	400e	400e	700e	1000e	2200e	1320e	1050e	1600e

Before further processing, it is necessary to define the Weights of individual criteria w_i (where i is the number of criteria), i.e. assign an appropriate weight value on a scale of 1 to 5 to each criterion. Weights are allocated according to the importance of the criterion, and by the principle, more important criterion, the greater the weight. Table 2 shows the values of the weight depending on the importance of the criteria.

Table 2: Importance of the criteria and corresponding weights

No. of criteria i	Importance	Weight w_i
1	Very important	5
2	Partially important	4
3	Important	3
4	Partially irrelevant	2
5	Completely irrelevant	1

Based on a detailed analysis of each criterion, as well as consultation with experts in the field of photography (photogrammetric experts, professional photographers, etc.), the following weighted values were proposed according to the criteria for astronomical purposes as shown in table 3.

By assigning the weight values according to the criteria, the second phase of the procedure was completed. In third phase it is necessary to determine the satisfaction of defined criteria, i.e. assign numerical value to the individual criteria (r_{ij}, where i is the number of criteria and j is number of alternative solution) for each

alternative solution. The levels of satisfying the criteria are given in table 4 and satisfaction measures in table 5.

Table 3: Values of weight by criteria

No. of criteria i	Criteria	Weight w_i
1	Resolution	5
2	Exposure	5
3	ISO sensitivity	4
4	Sensor size	4
5	Image processor	4
6	Record format	3
7	Memory type	2
8	Price	4

Table 4: The levels of satisfying the criteria

No	Satisfaction level	Values r_{ij}
1	Extremely high	9
2	Very high	8
3	High	7
4	Partially high	6
5	Medium	5
6	Partially low	4
7	Low	3
8	Very low	2
9	Extremely low	1

Table 5: Measures of satisfaction of individual criteria for alternative solutions

Criteria	550D	600D	1200D	5D Mark I	5D Mark II	5D Mark III	6D	7D Mark I	7D Mark II
Resolution	6	6	6	3	7	8	6	5	6
Exposure	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ISO sensitivity	5	6	3	3	7	9	9	7	8
Sensor size	7	7	7	4	8	9	6	7	9
Image processor	5	7	5	2	5	8	8	5	9
Record format	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Memory type	9	9	9	6	6	8	9	6	8
Price	7	8	8	7	6	2	4	6	3

Based on the measures of satisfaction of individual criteria, as well as the weight values, it is possible to calculate the definitive values of the individual criteria (S) according to the formula [4]:

$$S = w_i \cdot r_{ij}, \tag{1}$$

after which, by summing all points, a final score is obtained. This was done for each individual alternative solution as shown in table 6. So, this completes the fourth phase.

It is now possible to make the final decision on choosing an alternative solution, which is the solution with the highest score and that is a digital camera Canon EOS 5D Mark III. It is concluded that this alternative solution is optimal for astronomical observations of the night sky, which was the goal of the fifth phase. Table 7 shows a definitive overview of alternative solutions ranging from the highest to the lowest estimate, while figure 1 shows a graphic representation of the same.

Table 6: Calculation of values for each alternative solution with final scores

Criteria		EOS 550D		EOS 600D		EOS 1200D		EOS 5D MRKI		EOS 5D MRKII		EOS 5D MRKIII		EOS 6D		EOS 7D MRKI		EOS 7D MRKII	
	w_i	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S	r_{ij}	S
Res	5	6	**30**	6	**30**	6	**30**	3	**15**	7	**35**	8	**40**	6	**30**	5	**25**	6	**30**
Exp	5	8	**40**	8	**40**	8	**40**	8	**40**	8	**40**	8	**40**	8	**40**	8	**40**	8	**40**
ISO	4	5	**20**	6	**24**	3	**12**	3	**12**	7	**28**	9	**36**	9	**36**	7	**28**	8	**32**
Sen	4	7	**28**	7	**28**	7	**28**	4	**16**	8	**32**	9	**36**	6	**24**	7	**28**	9	**36**
Proc	4	5	**20**	7	**28**	5	**20**	2	**8**	5	**20**	8	**32**	8	**32**	5	**20**	9	**36**
Rec	3	8	**24**	8	**24**	8	**24**	8	**24**	8	**24**	8	**24**	8	**24**	8	**24**	8	**24**
Mem	2	9	**18**	9	**18**	9	**18**	6	**12**	6	**12**	8	**16**	9	**18**	6	**12**	8	**16**
Price	4	7	**28**	8	**32**	8	**32**	7	**28**	6	**24**	2	**8**	4	**16**	6	**24**	3	**12**
Total:			**208**		**224**		**204**		**155**		**215**		**232**		**220**		**201**		**226**

Table 7: Ranked view of the estimated solutions

Place	Alternative solution	Camera model	Score
1	A6	EOS 5D Mark III	232
2	A9	EOS 7D Mark II	226
3	A2	EOS 600D	224
4	A7	EOS 6D	220
5	A5	EOS 5D Mark II	215
6	A1	EOS 550D	208
7	A3	EOS 1200D	204
8	A8	EOS 7D Mark I	201
9	A4	EOS 5D Mark I	155

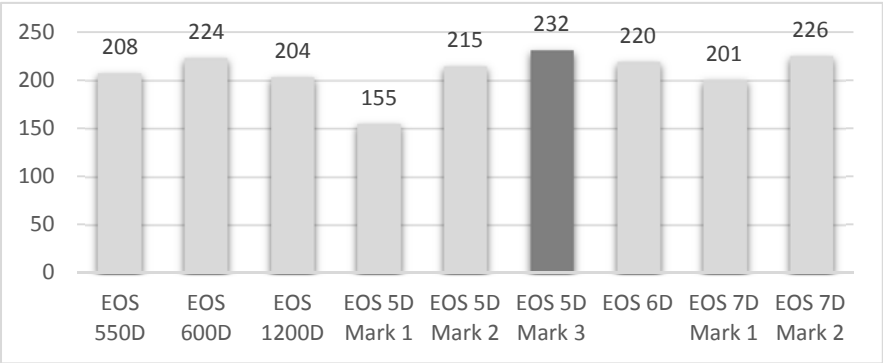


Figure 1: Graphic representation of estimated solutions

5. CONCLUSION

For the astronomical observation of the night sky using a digital camera, it is necessary to find the optimum when choosing same. In this paper, the scoring model is presented as a method of multi-criteria analysis, based on which it was possible to make the decision what camera is optimal for these tasks. The criteria involved in the decision-making process are: resolution, exposure, sensor size, ISO sensitivity, price, processor type, memory type and record format. Based on the analysis, it was decided that the Canon EOS 5D Mark III is optimal.

REFERENCES

[1] https://www.spaceanswers.com/deep-space/can-you-get-a-double-supernova-explosion 10.06.2017.

[2] http://fotografija.hr/ccd-cmos-foveon-super-ccd/ 12.06.2017.

[3] Hot, I. (2014). Upravljanje izradom generalnih projekata u oblasti infrastrukture primenom viškriterijumske analize. PhD Disertation, Faculty of Technical Science, University of Novi Sad, Serbia.

[4] Tomić, S., Marčeta, M., Pandžić, S., Pandžić, J. (2014). Multicriteria decision making in selecting a Digital camera for capturing civil engineering structures. Symposium on Operational Research (SYMOPIS 2014), Divčibare, Serbia.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MOGUĆNOST PRIMENA FOTOGRAMETRIJSKOG 3D MODELIRANJA OBJEKATA I DINAMIČKIH KRETANJA U GRAĐEVINARSTVU

POSSIBILITY OF APPLICATION OF PHOTOGRAMETRY 3D MODELING OF OBJECTS AND DYNAMIC MOVEMENTS IN CIVIL ENGINEERING

SLAVOLJUB TOMIĆ[1], MIROSLAV MARČETA[2]

[1] Visoka građevinsko-geodetska škola, tomicslavoljub@vggs.rs
[2] Visoka građevinsko-geodetska škola, marceta45@gmail.com

Rezime: *Trodimenzionalno modeliranje statičkih objekata i objekata u pokretu je postalo standard za njihovu vizuelizaciju i razne analize. Bliskopredmetna fotogrametrija je jedna od najpogodnijih metoda za obezbeđivanje verodstojnih podtaka za 3D modeliranje. U radu je dat prikaz metodlogije 3D modeliranja statičkih objekata i dinamikog kretanja primenom bliskopredmene fotogrametrije.*

Ključne reči: *3D modeliranje objekata, 3D modeliranje kretanja objekata,bliskopredmetna fotogrametrija.*

Abstract: *Three-dimensional modeling of static objects and objects on the move has become the standard for their visualization and various analyzes. A close range photogrammetry is one of the most suitable methods for providing credible details for 3D modeling. The paper presents an overview of the methodology of 3D modeling of static objects and dynamic motion using a close range photogrammetry.*

Keywords: *3D modeling of objects, 3D modeling of object movements, close range photogrammetry.*

1. UVOD

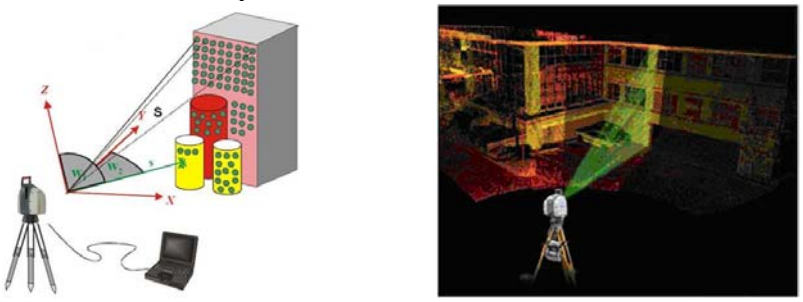
Brojne inženjersko-tehničke i druge srodne oblasti u velikom broju slučajeva zahtevaju izradu odgovarajućih 3D modela objekata, terena i pojava u prostoru. Ovo je postalo naročito značajno kada su se razvile adekvatne tehnološke metode 3D modeliranja. Kod 3D modeliranja objekata, radi se prvo o automatskom određivanju velikog broja 3D-koordinata po jedinici površine objekta (tz. "oblaka tačaka"), a potom njihove prostorne vizuelizacije.

Dobijanje "oblaka tačaka", odnosno 3D-koordinata nekog statičkog objekta danas se izvodi:

- laserskim skeniranjem
- fotogrametrijskim (optičkim) postupkom

2. 3D MODELIRANJE OBJEKATA NA OSNOVU LASERSKOG SKENIRANJA

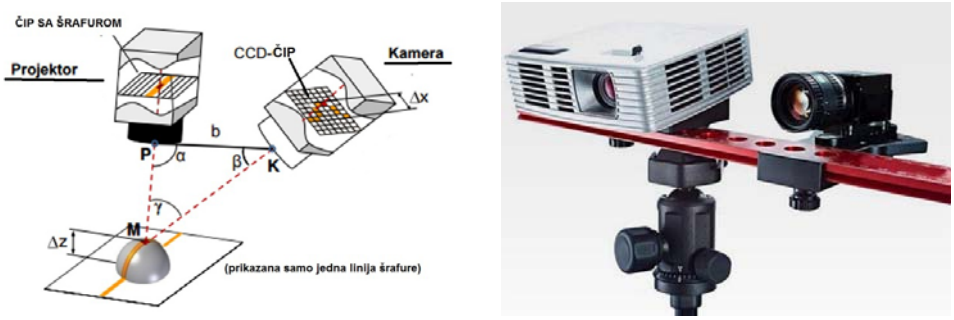
Izrada 3D modela objekata na osnovu laserskog skeniranja je do sada jedan od najčešće primenjivanih postupaka. Lasersko skeniranje se bazira na automatskom sistematskom određivanju dužina (rastojanja od skenera do tačaka na površini objekta - S) i merenja njihovih horizontalnih i vertikalnih uglova (Sl.1). Na osnovu toga se određuju 3D koordinate tih tačaka i dobija oblak tačaka koji reprezentuje površ objekta koji je predmet skeniranja. Daljom obradom, od oblaka tačaka se generiše 3D model željenog objekta. Za primenu ove metodologije 3D modeliranja neophodno je raspolagati sa odgovarajućim laserskim skenerima, koji su još uvek relativno skupi.



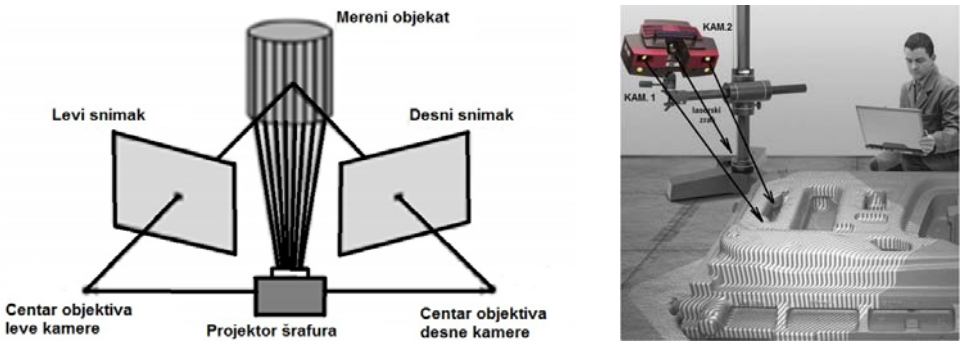
Slika 1: Medod laserskog skeniranja

3. FOTOGRAMETRIJSKO (OPTIČKO) 3D MODELIRANJE STATIČKIH OBJEKATA

Kao alternativa laserskom skeniranju može se primeniti metodlogija fotogrametrijskog (optičkog) skeniranja statičkih objekata, na osnovu čega se kasnije generiše odgovarajući 3D model. Fotogrametrijsko (optičko) skeniranje statičkih objekata zahteva uspostavljanje mernog aktivnog triangulacionog sistema, koji se satoji od jednog projektora i jedne (Sl.2), ili više (Sl.3), mernih kamera.



Slika 2: Medod fotogrametrijskog (optičkog) skeniranja sa jednom kamerom



Slika 3: Medod fotogrametrijskog (optičkog) skeniranja sa više kamera (Eckhoff, M. 2013)

Projektor (ili odgovarajući laser) projektuje na predmetni objekat tačke ili šrafure (Sl.2 i Sl.3), a merna kamera (ili više kamera) memoriše slike sa projektovanim tačkama ili šrafurama. Automatski se obavljaju fotogrametrijska merenja slikovnih koordinata svih projektovanih tačaka ili elemanata šrafure. Na osnovu toga, a uz poznavanje prostornog položaja kamera, prostornim presecanjem napred automatski se računaju 3D-koordinate pojedinačnih projektovanih tačaka ili elemenata šrafura. Ovim postupkom se takođe dobija odgovarajući oblak tačaka koji reprezentuje površ i geometrijske karakteristike predmetnog objekta. Daljim automatskim procesuiranjem ovog oblaka tačaka, sastavljenog od 3D koordinata objekta, dobija se njegov 3D model.

Lasersko i fotogrametrijsko (optičko) skeniranje se, za 3D modeliranje statičkih objekata, danas koristi u mašinskoj industriji (Sl.4), građevinarstvu, zaštiti spomenika kulture, automobilskoj industiji (Sl.5), kreiranju karoserija automobila (Sl.6), analizi sigurnosti vozila, sportu, medicini (Sl.7), stomatologiji (Sl.7), itd.

Slika 4: Primena 3D modeliranja u mašinstvu

Slika 5: Primena 3D modeliranja u automobilskoj industriji

Slika 6: Primena 3D modeliranja u dizajnu

Slika 7: Primena 3D modeliranja u medicini i stomatologiji

4. FOTOGRAMETRIJSKO (OPTIČKO) 3D MODELIRANJE DINAMIČKOG KRETANJA

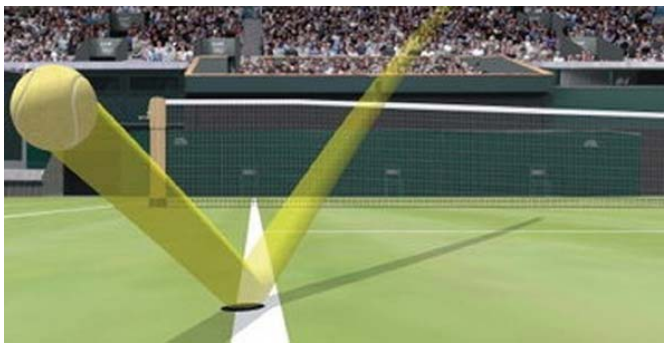
Pored izrade 3D modela statičkih objekata, često se ukazuje potreba za 3D modeliranjem objekata u pokretu ili modeliranjem trajektorije po kojoj se predmetni objekat kretao. Za ove potrebe posebno je pogodno fotogrametrijsko (optičko) snimanje i 3D modeliranje dinamičkog kretanja, jer ova metoda omogućava precizno prostorno prikazivanje kretanja objekta. Zbog toga je snimanje i izrada 3D modela kretanja objekata našla široku primenu u rešavanju raznih problema u građevinarstvu, industriji, medicini, sportu, itd.

Najpoznatiji primer primene 3D modela kretanja objekta je poznato „sokolovo oko“ u tenisu, na čijem primeru će biti prezentirana ova tehnologija. Istovremeno, razvijane su i metodologije 3D modeliranja kretanja i u ostalim oblastima, kao što su mašinska industrija, građevinarstvo, medicina itd.

Suština izrade 3D-modela kretanja bazira na snimanju pokretnog objekta (teniske lopte), koje se može izvoditi:

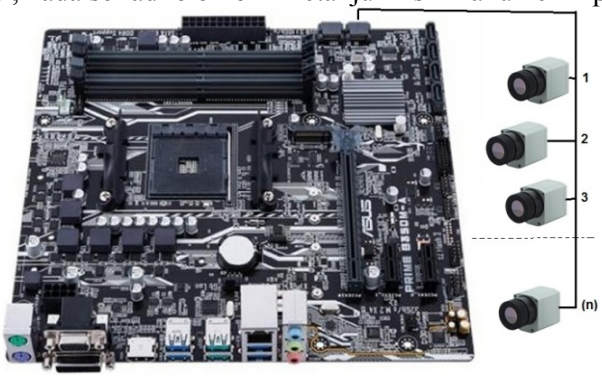
- sa više sinhronizovanih statičkih digitalnih kamera, ili
- sa jednom digitalnom kamerom koja se kreće

Osnovni princip je da se izvede snimanje nekog kretanje sa više sinhronizovanih statičkih kamera, čime se stvaraju preduslovi za određivanje 4D koordinata (X,Y,Z,t) tačaka putanje objekta čije se kretanje snima. Za adekvatnu vizuelnu prostornu interpretaciju kretanja objekta potrebno je softverski obraditi 4D položaje fotogrametriski merenih tačaka objekta snimljenog u toku kretanja (Sl.8).



Slika 8: 3D modeliranje dinamičkog kretanja

Kontinualno snimanje kretanja se vrši sa više sinhronizovanih kamera koje su povezane u mrežu (Sl.9) i koje prave oko 50 fremova u sekundi (ako kretanje objekta nije suviše brzo), pa sve do kamera koje imaju i preko 1000 fremova u sekundi, kada se radi o brzom kretanju ili snimanu nekih procesa u industriji.



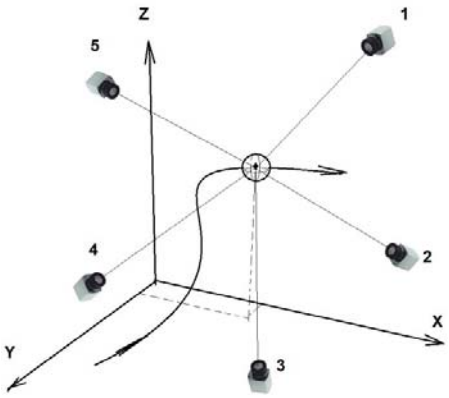
Slika 9: Sistem „n“ brzih video kamera povezanih u mrežu

Kamere koje se koriste moraju biti strogo kalibrisane, odnosno da imaju određenu unutrašnju orijentaciju, a koja se sastoji iz sledećih parametara:

- žižna daljina (c)
- položaj centralne tačke digitalnog snimka
- distorzija objektiva

Rezolicije digitalnih snimaka (fremova), koji se dobijaju ovim kamerama, kreću se od 1280x1024 do 2016x2016 piksela.

Prostorne koordinate tačaka putanje kretanja određuju se na osnovu automatskog merenja 2D slikovnih koordinata tačaka objekta na digitalnim snimcima, dobijenim sa svih kamera koje snimaju kretanje, za svaki trenutak kretanja, (Sl. 10).



Slika 10: Određivanje prostornih koordinata putanje kretanja

Merene slikovne koordinate i poznati parametri unutrašnje orijentacije kamera automatski obrazuju prostorne zrake kolinearnog preslikavanja (1):

$$x_i' = x_0' - c\frac{a_{11}(X-X_0)+a_{21}(Y-Y_0)+a_{31}(Z-Z_0)}{a_{13}(X-X_0)+a_{23}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)} \qquad y_i' = y_0' - c\frac{a_{12}(X-X_0)+a_{22}(Y-Y_0)+a_{32}(Z-Z_0)}{a_{13}(X-X_0)+a_{23}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)} \quad (1)$$

Za svaki trenutak (t), u toku kretanja objekta, formiraju se prostorni zraci (1) preslikavanja sa svih fremova (digitalnih snimaka) sinhronizovanog snimanja, pa se tako dobija „ snop zraka“ koji se seku u tački putanje u kojoj se objekat nalazio u trenutku (t). Posrednim izravnajem ovog snopa dolazi se do najverovatnijih 3D kordinata tačaka putanje objekta. Sukcesivnim postupkom računanja 3D koordinata putanje objekta, uz upotrebu računara sa veoma brzim procesorima i odgovarajućih softvera, posmatrač na ekranu stiče utisak kontinualnog 3D kretanja posmatranog objekta.

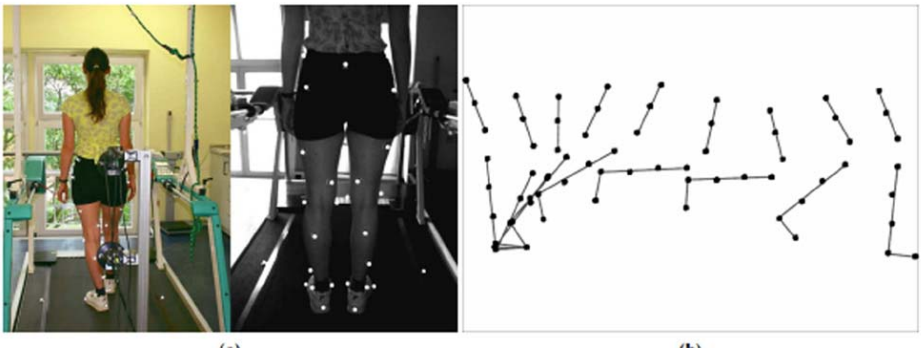
5. PRIMENE FOTOGRAMETRIJSKOG 3D MODELOVANJA DINAMIČKOG KRETANJA

Poznato je da je bliskopredmetno fotogrametrijsko snimanje prostornog kretanje objekata našlo široku primenu u brojni oblastima, od kojih su najpoznatije:

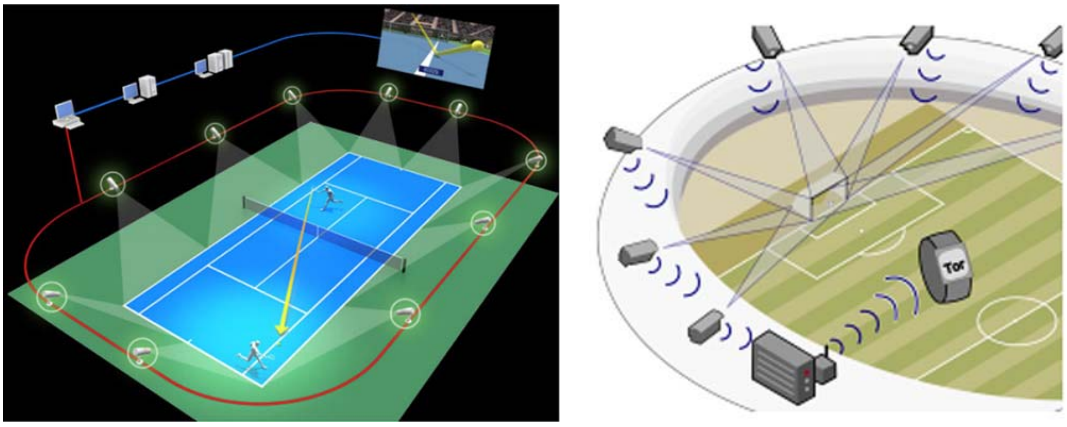
- praćenje deformacija prostornog kretanja objekata, konstrukcija i instalacija u građevinsrstvu,
- mašinska i automobilska industrija,
- balistika,
- robotika,
- medicina,
- sport (kod sudijskog odlučivanja u igrama sa loptom, anliza dinamičkih kretanja sportista).

Slika 11: Praćenje kretanja auto pumpe za beton sa vektorskim prikazom kretanja(Heipke, C. 2010)

Slika 12: Modeliranje i testiranje izdržljivosti karoserija u automobilskoj industriji (Westfeld, P. 2012)



Slika 13: Analiza ljudskog kretanja (Westfeld, P. 2012)



Slika 14: Brze digitalne kamere kod suđenja u tenisu i fudbalu (Moreira, M.S. 2016)

Kod snimanja kretanja objekta, naročito kod inženjerskih radova, određenih procesa ili za donošenje sudijskih odluka kod suđenja u sportovima sa loptom, često je od odlučujućeg značaja tačnost 3D koordinata pojedinačnih tačaka putanje prostornog kretanja. Analiza tačnosti fotogrametrijskog određivanja 3D koordinata prostornog kretanja objekata je predmet posebnih istraživinja.

6. ZAKLJUČAK

Trodimenzionalno modeliranje statičih objekata je našlo brojne primene i postalo standardni način vizuelne prezentacije geometrijskih karakteristika objekata. Razvoj tehnologije 3D modeliranja dinamičkog kretanja omogućio je da se ove primene prošire i na oblasti u kojima se zahtevaju precizni podaci i vizuelna prezentacija putanje nekog objeta koji se kreće. Bliskopredmetna fotogrametrija ima razvijenu metodologiju za obezbeđivanje kvaltenih podataka za 3D modeliranje i statičkih i objekata u pokretu, pa se nameće kao metoda izbora za rešavanje ovakvih praktičnih zadataka.

LITERATURA

[1] Westfeld, P. (2012). Geometrische und Stochastische Modelle zur Verarbeitung von 3D-Kameradaten am Beispielmenschlicher Bewegungsanalysen, Doktorska disertacija, TU Dresden.

[2] Stancic I. (2012). Sustav za mjerenje i vrednovanje antropometrijskih parametara i kinematike ljudskog kretanja, doktorska disertacija, Fakultet elktronike Split.

[3] Kredel R. (2013). Dreidimensionale Bewegungserfassung mit Consumer-Highspeedkameras, Doktorska disertacija, Uni Koblänz.

[4] Heipke, C. (2010). Optische 3D-Messtechnik: Neue Anwendungen durch digitale Technik, Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Braunschweig.

[5] Moreira, M.S. (2016). Multicamera System for Automatic Positioning of Objects in Game Sports, Faculdade de engenharia da Universidade do Porto.

[6] Eckhoff,M. (2013). Eignung des Streifenprojektionssystems David LaserScanner für dreidimensionale Oberflächenerfassung, Master rad, Ipi – Hannover.

[7] http://topometric.de/

[8] Weickmann, J. (2010). Assistenzsystem für die Prüfung von Blechbauteilen mit Mehrkomponenten-Streifenprojektionssystemen unter Anwendung der „virtuellen Rückdeformation“, Disertacija, Erlangen.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ANALIZA UTICAJA SUBJEKTIVNOSTI IZBORA BROJA I POZICIJA TAČAKA KOJE SE SNIMAJU ZA OBRAČUN ZAPREMINA DEPONOVANOG MATERIJALA

ANALYSIS OF SUBJECTIVITY IMPACT ON CHOOSING NUMBER AND DISPOSITION OF POINTS COLLECTED FOR CALCULATING DEPOSITED MATERIAL VOLUMES

SLOBODAN PANDŽIĆ[1], SLAVOLJUB TOMIĆ[2] , DRAGAN MACANOVIĆ[3]

[1] Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, slobodanpandzic@vggs.rs
[2] Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, tomicslavoljub@vggs.rs
[3] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, dragan.macanovic@aggf.unibl.org

Rezime: *Zapremina deponovanog građevinskog materijala može se obračunati na različite načine. Najčešće se primenjuju metode koje se baziraju na geodetskom snimanju dva stanja (početnog - nultog i nasutog - deponovanog stanja). Za snimanje se mogu primeniti različite metode geodetskog snimanja ali se najčešće primenjuje polarna i GNSS metoda, a u poslednje vreme bliskopredmetna fotogrametrija i terestričko lasersko skeniranje. Pri upotrebi polarne i GNSS metode na terenu se biraju diskretne tačke koje najbolje aproksimiraju oblik deponije. U radu je analiziran subjektivni uticaj na izbor tačaka za snimanje kao i sam obračun zapremina.*

Ključne reči: *Zapremina, geodetske metode.*

Abstract: *The volume of deposited construction material can be calculated in different ways. The most frequently applied methods are the ones based on geodetic surveying of two states (the initial - zero state and the heaped - deposited state). Various methods of surveying can be applied for data capturing – polar and GNSS methods are commonly used, but lately also close-range photogrammetry and terrestrial laser scanning. When using polar or GNSS method, discrete points that approximate best the shape of a pile are selected in the field. This paper analyzes the subjective impact on the choice of collected points, as well as on the calculation of volumes.*

Keywords: *Volume, geodetic methods.*

1. UVOD

Pri izvođenju građevinskih radova, često se u praksi javlja potreba za obračunom zapremina otkopanog, nasutog ili deponovanog građevinskog ili drugog materijala. Obračun zapremina se vrši na osnovu geodetskih merenja koja najčešće nezavisno obavljaju dve ekipe i to ekipa koja radi za izvođača radova i druga koja vrši nadzor nad tim radovima. Ako se vrše dva nezavisna snimanja, postavlja se pitanje uporedivosti rezultata tih obračuna. Da bi ta poređenja bila relevantna obe ekipe moraju primeniti iste metode snimanja i obračuna. Pored klasičnih metoda snimanja (polarne i GNSS metode) danas se sve više primenjuje lasersko i fotogrametrijsko skeniranje. S obzirom da se još uvek najčešće primenjuju polarna i GNSS metoda snimanja, kod kojih se biraju diskretne tačke koje najbolje reprezentuju snimani teren, postavlja se pitanje uporedivosti rezultata obračuna zapremina ukoliko snimanja izvode dve ekipe.

U cilju što objektivnijeg poređenja rezultata obračuna zapremina, izbor tačaka za snimanje su nezavisno obavila dva stručnjaka koji rade u istoj terenskoj ekipi. Samo merenje sa totalnom stanicom je obavio treći stručnjak.

U radu su prikazani rezultati poređenja obračunatih zapremina iz dva nezavisna geodetska snimanja.

2. OBRAČUN ZAPREMINA

Obračun zapremina deponovanog materijala, na osnovu podataka dobijenih geodetskim merenjima, može se obaviti različitim softverskim paketima. Međutim, svi ovi paketi su bazirani na formiranju digitalnih modela dva stanja na terenu, pri čemu se digitalni modeli terena (DMT) najčešće formiraju na osnovu niza međusobno povezanih trouglova tzv. TIN model (engl. Triangul Irregular Network).

U okviru eksperimenta koji je predmet rada, zapremina je računata primenom kombinovane metode (engl. Composite method), kao i metode vertikalnih preseka (profila), koje su razvijene u okviru softverskog paketa AutoCad Civil 3D. Razlog za primenu ove dve metode leži u činjenici da se u praksi za obračun zapremina najčešće primenjuje metoda vertikalnih preseka (profila), dok kombinovana metoda u odnosu na druge metode daje najtačnije i najpouzdanije rezultate obračuna zapremine između dva DMT.

2.1. Kombinovana metoda

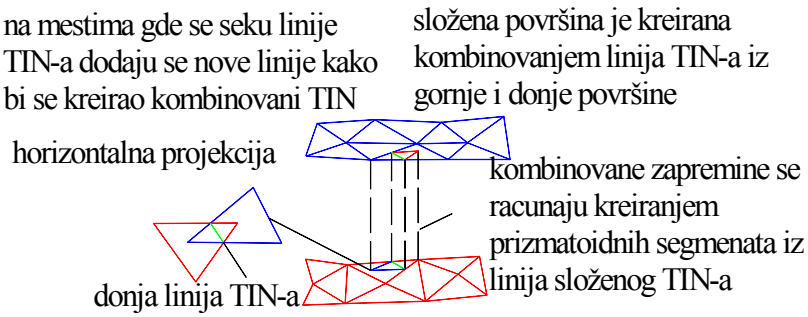
Kombinovana metoda za potrebe određivanja zapremine, u preseku dva postojeća TIN-a formira novi TIN (Slika 1). Softverski se u vrhovima novih trouglova vrši interpolacija visina tačaka na jednoj i drugoj površi TIN-a. Na osnovu razlika ovih visina formira se novi DMT, na osnovu koga se računa zapremina [1]. Samo računanje zapremine je zapravo računanje pojedinačnih zapremina prizmi čije su osnove novi trouglovi. Zapremina jedne prizme se računa po formuli:

$$V = P_{\Delta} \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} = \frac{P_{\Delta} \cdot \sum_{i=1}^{3} h_i}{3} \tag{1}$$

gde su:

P_{Δ} - površina osnove trostrane prizme,

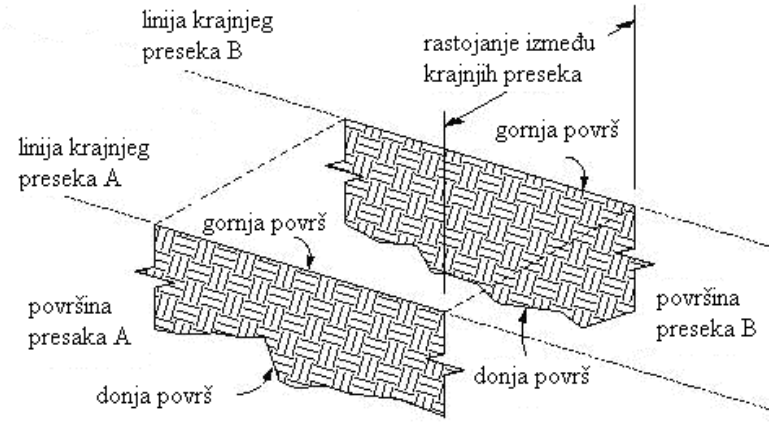
h_i - visinska razlika između dva DMT u čvorovima osnove prizme.



Slika 1: Kombinovana metoda [1]

2.2. Metoda verttikalnih preseka (profila)

U današnje vreme, za ovu metodu se najpre formiraju dva DMT, a zatim se na definisanim mestima prave preseci tih modela. Program interpoluje visine tačaka preseka linije profila sa linijama TIN-a. Pri interpolaciji visina tačaka najčešće se primenjuje linearna interpolacija, a može biti i drugačiji matematički model. Tačnost interpolovanih visina direktno zavisi od tačnosti visina tačaka između kojih se vrši interpolacija, a još više zavisi od ranije definisanog TIN-a. Kada se izvrše sve potrebne interpolacije, program računa površinu između dve polilinije koje predstavljaju dve različite površi. Zapremina se dobije po klasičnom principu obračuna zapremina na osnovu profila.



Slika 2: Metoda preseka

Zapremna između dva susedna profila se računa na po formuli:

$$V = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot L \tag{2}$$

gde su:

V - zapremina prizmatoida,

L - rastojanje između profila,

P_1 - površina prvog preseka (profila) i

P_2 - površina drugog preseka (profila).

Ukupna zapremina se dobije sabiranjem zapremina između svih profila. Kod ovog načina obračuna zapremina tačnost najviše zavisi od rasporeda i gustine profila za obračun zapremina.

3. EKSPERIMENT

Prilikom izvođenja građevinskih radova, na površini od P=4590 m2 je formirana gomila (deponija) humusa. Pre formiranja gomile humusa snimljeno je početno-nulto stanje. Nakon deponovanja humusa ponovo je snimljeno stanje na terenu, a simanje su nezavisno obavile dve ekipe. Sva snimanja su obavljena polarnom metodom uz primenu totalne stanice SOKKIA SET3130R3. Snimanje je obavljeno po sistemu rasutih tačaka, a izbor pozicija tačaka za snimanje su obavila dva stručna lica (osoba A i osoba B) sa višegodišnjim iskustvom u snimanju i obračunu zapremina deponovanog materijala. Ta dva stručna lica imaju ujednačeno radno iskustvo u snimanju deponija materijala i obračunu zapremina jer su zajedno radili i činili jednu ekipu za terenski rad. Pri snimanju nultog stanja je ukupno snimljeno 77 tačaka dok je deponija u prvoj varijanti snimljena sa 613 tačaka, a drugoj sa 567 tačaka. Razlika u broju tačaka je manja od 8%. Snimanje deponovanog materijala (Sl. 1) je obavljeno sa iste geodetske mreže tako da greška mreže ne utiče na tačnost obračuna zapremina.

Slika 3: Deo deponije humusa

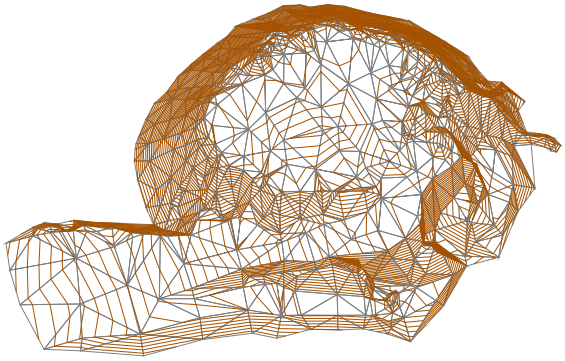
Na osnovu rezultata geodetskih merenja (snimanja), primenom programskog paketa AutoCad Civil 3D, formirani su digitalni modeli terena na osnovu kojih su sračunate zapremine.

Može se reći da su sračunate zapremine uslovno tačne što zavisi od iskustva stručnjaka koji se bave snimanjem i obračunom zapremina. U eksperimentu su obračunate zapremine deponovinog materijala na osnovu ukupnog broja snimljenih tačaka.

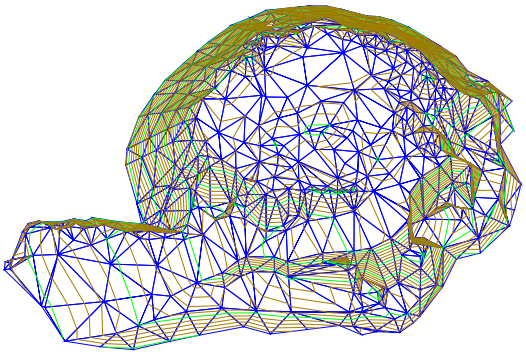
Cilj eksperimenta je da se na konkretnom primeru proveri koliko je procentualno odstupanje u obračunatim zapreminama koje su nezavisno obavile dve ekipe.

4. REZULTATI

Sprovedeni eksperiment je imao za cilj da se, subjektivnost izbora pozicija diskretnih tačaka koje se snimaju geodetskim metodama, kao i pri obradi ovako dobijenih podataka (formiranju DMT), prikaže kao mogući izvor grešaka prilikom obračauna zapremina deponovanog materijala.



Slika 3: DMT (I geodetsko snimanje)



Slika 4: DMT (II geodetsko snimanje)

Predmetna deponija materijala je dva puta geodetski snimljena (polarnom metodom), pri čemu su izbor diskretnih tačaka obavila dva stručnjaka. Nakon obavljenog snimanja, softverskim paketom AutoCAD Civil 3D zapreminu deponovanog materijala je obračunala osoba (osoba A) koja nije učestvovala u II snimanju. Rezultati obračuna su dati u Tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati obračuna zapremina I i II snimanja (obračun izvršila osoba A)

Geodetsko merenje	Kombinovana metoda m^3	Metoda vertikalnih preseka m^3	Sredina m^3
I snimanje	15513.06	15440.57	15476.82
II snimanje	15740.30	15704.22	15722.26
Razlika	227.24	263.65	245.44
Razlika (%)	1.45%	1.69%	1.57%

Nezavisno od prethodnog računanja drugo stručno lice (osoba B) je, koristeći iste podatke, primenom istog programa AutoCAD Civil 3D, formiralo nove digitalne modele terena i obračunalo zapreminu deponovanog materijala. Za obračun zapremine u ovom programu primenjene su iste metode računanja zapremina koje je koristila osoba A, a dobijeni rezultati su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati obračuna zapremina I i II snimanja (obračun izvršila osoba B)

Geodetsko merenje	Kombinovana metoda m^3	Metoda vertikalnih preseka m^3	Sredina m^3
I snimanje	15543.56	15469.31	15506.44
II snimanje	15765.06	15730.18	15747.62
Razlika	221.50	260.87	241.18
Razlika (%)	1.41%	1.67%	1.54%

Komentar:

Konačni rezultati pokazuju da se obračunate zapremine iz dva nezavisna geodetska merenja razlikuju u proseku za 1.57 % odnosno 1.54%.

Da bi se dobio odgovor i na pitanje koliko se razlikuju zapremine koje obračunaju dve osobe (osobe sličnih kvalifikacija) iz istih podataka snimanja, u Tabelama 3 i 4 su dati uporedni podaci.

Tabela 3: Poređenje rezultata obračuna zapremina na osnovu I snimanja

Geodetsko merenje I snimanje	Kombinovana metoda m^3	Metoda vertikalnih preseka m^3	Sredina m^3
Osoba A	15513.06	15440.57	15476.82
Osoba B	15543.56	15469.31	15506.44
Razlika	30.50	28.74	29.62
Razlika (%)	0.20%	0.19%	0.19%

Tabela 4: Poređenje rezultata obračuna zapremina na osnovu II snimanja

Geodetsko merenje II snimanje	Kombinovana metoda m^3	Metoda vertikalnih preseka m^3	Sredina m^3
Osoba A	15740.30	15704.22	15722.26
Osoba B	15765.06	15730.18	15747.62
Razlika	24.76	25.96	25.36
Razlika (%)	0.16%	0.16%	0.16%

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabelama 3 i 4, može se zaključiti da u ovom primeru na tačnost obračuna zapremina nije mnogo uticao ljudski faktor, odnosno da su obe osobe imale slične poglede u kreiranju DMT.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u svim tabelama pokazuju da izbor položaja tačaka za snimanje ima značajan uticaj na tačnost obračuna zapremina, zbog čega ove radove moraju izvoditi stručna i za to kvalifikovana lica. Ukoliko se želi izbeći subjektivni uticaj stručnjaka pri izboru detaljnih tačaka za snimanje, mogu se primeniti geodetske metode snimanja koje to obezbeđuju: terestričko lasersko skeniranje ili fotogrametrijsko skeniranje.

LITERATURA

[1] Pandžić, S. (2010), Tačnost i pouzdanost određivanja zapremina otkopanih i odloženih masa na površinskim kopovima uglja, Doktorska disertacija, Beograd, Rudarsko-geološki fakultet.

[2] Ward, H. and Orem, N. (2009), AutoCAD Civil 3D 2009. New Jersey: Pearson Education, Inc.

[3] Pandžić, S., Tomić, S., Aleksić, V., Pandžić, J. (2016), Višekriterijumsko odlučivanje pri izboru optimalne geodetske opreme za snimanje deponija građevinskog materijala primenom metoda VIKOR i ELEKTRE, Zbornik radova, Simpozijum o oprecionim istraživanjima – SYMOPIS 2016, , Tara.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAME WITH THE SOCIAL SPIDER OPTIMIZATION METHOD

SNEŽANA MITROVIĆ[1], GORAN ĆIROVIĆ[2], , DRAGAN NIKOLIĆ[3]

[1] The University College of Civil Engineering and Geodesy, Belgrade, mitrozs@sezampro.rs
[2] The University College of Civil Engineering and Geodesy, Belgrade, cirovic@sezampro.rs
[3] The University College of Civil Engineering and Geodesy, Belgrade, dotrun.bgd@gmail.com

Abstract: *Determination of dimensions of cross sections that can withstand external loads, as well as to meet the technical regulations that determines the limits of the permissible deformation is the main aim of a structural steel designers. Another aim is to keep the amount of used steel per kg to be minimal. The method of swarm optimization inspired in the behavior of the social-spider is applied in single-objective, discrete, constrained structural engineering optimization problem where the aim is to minimize the weight of the steel structure under various constraints on displacements and forces which are based on Eurocode 3. This algorithm has been implemented in MATHLAB and the results are thus presented.*

Keywords: *Optimal steel frame design, social spider optimization.*

1. INTRODUCTION

The main aim of the structural designers is that the structural elements have optimal cross sectional dimensions that can withstand external loads, as well as to meet the technical regulations that determines the limits of the permissible deformation. Determination of dimensions of cross sections can be quite easy for statically defined systems, if there is no displacement of supports. Nevertheless, for statically indeterminate systems is necessary to know the characteristic size of the cross-sections of the elements, after which it enters the iteration procedure. To structural elements which are designed and engineered for the to be made of steel, it is primarily necessary to assume a certain value, or select a particular profile from the section table and thereafter to conduct the analysis, which will be determined by an inside force and moments. In the event that the assumed profile does not satisfy the technical regulations (Eurocodes-EC), it is necessary to adopt another profile/cross-section from the list of tables. The procedure can be repeated several times, making the task becomes more complex. Of course, the amount of used steel per kg should be minimal.

2. THE SOCIAL SPIDER OPTIMIZATION METHOD

The stochastic search techniques make use of ideas inspired from nature, and they are equally efficient for obtaining the solution of both continuous and discrete optimization problems. The basic idea behind these techniques is to simulate the natural phenomena such as survival of the fittest, immune system, swarm intelligence, and the cooling process of molten metals through annealing to a numerical algorithm.

Although Particle Swarm optimization (PSO) is the most popular swarm algorithm for solving complex optimization problems, it present serious flaws such as premature convergence and difficulty to overcome local minima. The reason of these problems is the operators used for modifying the individual positions. In such algorithms, during their evolution, the position of each variable in the next iteration is updated yielding an attraction towards the position of the best particle seen so far. Such behaviors produce that the entire population, as the algorithm evolves, concentrates around the best particle or diverges without control, favoring the premature convergence or damaging the exploration-exploitation balance. In this work, an improved technique also based on the social behavior of the animals named The Social Spider Optimization method (SSA) will be presented.

The first crucial difference between SSA and PSO is in individual following patterns. In PSO, all particles follow a common global best position and their own personal best position. In SSA, all spiders follow positions constructed by others' current positions and their own historical positions. Another difference is that in PSO, the common knowledge of the group is all about the best particle in the system. All remaining particles in the system do not constitute the shared information of the group, which may lead to neglecting

some valuable information of the population. In SSA, each spider generates a new piece of information and propagates the information to the whole population.

A social spider is a spider species whose members maintain a set of complex cooperative behaviors. Whereas most spiders are solitary and even aggressive toward other members of their own species, social-spiders show a tendency to live in groups, forming longlasting aggregations, often referred to as colonies. In a social spider colony, each member, depending on its sex, executes a variety of tasks, such as predation, mating, web design, and social interaction (Aviles, L. 1986, Burgess, J. W. 1982). A social spider colony is composed of two fundamental components: members and a communal web. Members are divided in two different categories, males and females. An interesting characteristic of social spiders is the highly female biased populations. In the colony, each member, depending on its gender, cooperate in different activities such as build and maintain the communal web, prey capture, mating and social contact. Interactions among members are either direct or indirect. Direct interactions imply body contact, or the exchange of fluid, such as mating. For indirect interactions, it is used the communal web as a "medium of communication". Through the communal web, it is transmitted important information available for each colony member. For a particular female spider, such attraction or dislike is commonly developed over other spiders that according to their vibrations (emitted over the communal web) represent strong colony members (Eric, C., Yip, K.S. 2008). Since the vibrations depend on the weight and distance of the members which provoke them, strong vibrations are produced either by big spiders or neighboring members (Maxence, S. 2010). Male spiders recognize themselves a subgroup of alpha males which dominate the colony resources. According to the biological behavior of the social spider, male population is divided in two classes: dominant and non-dominant male spiders. Dominant male spiders have better fitness characteristics (normally size) in comparison with non-dominant. Dominant males are attracted to the closest female spider in the communal web. In contrast, non-dominant male spiders tend to concentrate in the center of the male population, as a strategy to take advantage of the resources wasted by the dominant males. As a main behavior, dominant males are attracted to the closest female spider in the communal web. In contrast, non-dominant male spiders tend to concentrate in the center of the male population, as a strategy to take advantage of the resources wasted by the dominant males.

The spiders are the agents of SSA to perform optimization. At the beginning of the algorithm, a pre-defined number of spiders are put on the web. Each spider s holds a memory, storing the following individual information:

- The position of *s* on the web.
- The fitness of the current position of *s*.
- The target vibration of s in the previous iteration.
- The number of iterations since *s* has last changed its target vibration.
- The movement that *s* performed in the previous iteration.
- The dimension mask that *s* employed to guide movement in the previous iteration.

An interesting characteristic of social-spiders is the highly female-biased populations. In order to emulate this fact, the mathematical algorithm starts by defining the number of female and male spiders that will be characterized as individuals in the search space. The number of females N_f is randomly selected within the range of 65–90 % of the entire population N, previously chosen.

$$N_f = floor\left[\left(0.9 - rand \cdot 0.25\right)N\right] \tag{1}$$

where *rand* is random number between [0,1] whereas floor (·)maps a real nuber to an integer number. The number of male spider N_m is computed as a complement between N and N_f.

Therefore, the complete population S, composed by N elements, is divided in two sub-groups F and M. The Group F assembles the set of female individuals ($f_1,...f_{Nf}$) whereas M groups the male members ($m_1,...m_{Nm}$), where S = $F \cup M$. In the biological metaphor, the spider size is the characteristic that evaluates the individual capacity to perform better its assigned tasks. In the presented approach, every individual (spider) receive a weight w_i which represents the solution quality that corresponds to the spider i (irrespective of the gender) of the population S.

The communal web is used as a mechanism to transmit information among the colony members. This information, encoded in form of small vibrations, is a critical aspect for the collective coordination for all individuals in the population. The vibrations depend on the weight and distance of the spider which provoke them. Since the distance is relative to the individual that provokes the vibrations and the member who detects them, members near to the individual that provokes the vibrations perceive stronger vibrations in comparison with members located in distant positions. In order to reproduce this process, the vibrations perceived by the

individual i as a result of the information transmitted by the member j are modeled according to the following equation:

$$Vib_{i,j} = w_j \cdot e^{-d_{i,j}^2}, \qquad d_{i,j} = \left\| s_i - s_j \right\| \tag{2}$$

In order to emulate the cooperative behavior of the female spider, a new operator is defined. The operator considers the position change of the female spider i at each iteration. Such position change (which can be of attraction or repulsion) is computed as a combination of three different elements. The first one involves the change in regard to the nearest member to i with a higher weight (this member produces the vibration $Vibc_i$). The second one considers the change regarding the best individual of the entire population S (such individual produces the vibration $Vibb_i$). Finally, the third one implements the incorporation of a random movement. Since the final movement of attraction or repulsion depends on several random phenomena, this election is modeled as a stochastic decision. For this operation, a uniform random number r_m is generated within the range [0, 1]. Configuration of each special relation is shown at the Figure 1.

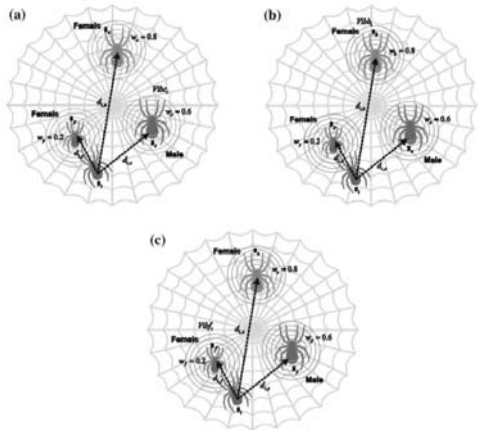


Figure 1: Configuration of each special relation: a) $Vibc_i$, b) $Vibb_i$ and c) $Vibf_i$ (Cuevas, E. 2016)

Mating in a social-spider colony is performed by dominant males and the female members. Once the new spider is formed, it is compared, the new spider candidate s_{new} with the worst spider s_{wo} of the colony, according to their weight values. If the new spider is better than the worst spider, the worst spider is replaced by the new one.

In the initialization phase, the algorithm defines the objective function and its solution space. The value for the parameter used in SSA is also assigned. After setting the values, the algorithm proceeds to create an initial population of spiders for optimization. As the total number of spiders remains unchanged during the simulation of SSA, a fixed size memory is allocated to store their information. The positions of spiders are randomly generated in the search space, with their fitness values calculated and stored. The initial target vibration of each spider in the population is set at its current position, and the vibration intensity is zero. All other attributes stored by each spider are also initialized with zeros. This finishes the initialization phase and the algorithm starts the iteration phase, which performs the search with the artificial spiders created. In the iteration phase, a number of iterations are performed by the algorithm. In each iteration, all spiders on the web move to a new position and evaluate their fitness values. Each iteration can be further divided into the following sub-steps: fitness evaluation, vibration generation, mask changing, random walk, and constraint handling (Cuevas, E. et al., 2016).

3. PROBLEM DEFINITION

In a frequency constraint frame layout and size optimization problem the aim is to minimize the weight of the structure while satisfying some constraints on natural frequencies. The design variables are considered to be the cross-sectional areas of the members and/or the coordinates of some nodes. It is apparent that determination of the response of the frame under the applied loads necessitates the values of the other cross-sectional properties such as moment of inertia and sectional modulus. Therefore it becomes necessary to use the relationship to relate the other crosssectional properties to sectional areas in order not to increase the number of design variables in the programming problem. The topology of the structure is not supposed to be changed and thus the connectivity information is predefined and kept unaffected during the optimization process. Each of the design variables should be chosen within a permissible range. (Kaveh, A.2014) The method of swarm optimization inspired in the behavior of the social-spider is applied in single-objective,

discrete, constrained structural engineering optimization problem where the aim is to minimize the weight of the steel structure under various constraints on displacements and forces (biaxial bending with axial force and shear force) which are based on Eurocode 3. This algorithm has been implemented in MATHLAB and the results are thus presented. Each solution within the search space represents a spider position,while the weight of each spider represent the fitness value of the solution.

The formulation of a generic single-objective optimization problem can be written as follows (Plevris, A. et al., 2011):

$$\min_{x \in R^n} f(x), \quad x = [x_1, ..., x_n]^T, \qquad f \in R \tag{3}$$

Subject to

$$g(x) \le 0, \qquad g \in R^p$$

$$h(x) \le 0, \qquad h \in R^p$$

$$x_i \in X_i, \qquad i = 1, ..., n$$

where:

- $x = [x_1, ..., x_n]^T$ is a vector of length n containing the design variables.
- X_i is the set of x_i, which may be continuous, discrete or integer. The whole design space for the n design variables can be denoted as X.
- $f(x)$: $R^n \rightarrow R$ is the objective function, which returns a scalar value to be minimized.
- $g(x)^T = [g_1(x), ..., g_p(x)]$ is the vector function of p inequality constraints.
- $h(x)^T = [h_1(x), ..., h_q(x)]$ is the vector function of q equality constraints.

In structural design optimization, inequality constraints are mainly used, since equality constraints are not applicable for real-world problems. If the objective function is the weight of the structure, it is given by:

$$\min W(x) = \rho \sum_{i=1}^{Ne} A_i L_i \tag{4}$$

where ρ is the material density, N_e is the number of elements of the model and A_i, L_i are the cross sectional area and the length of each element, respectively.

With the general formulation of Eq. (1), the design variables may have continuous, discrete or integer values, or a combination of them, with the restriction

$$x_i \in X_i, \qquad i = 1, ..., \mathrm{n} \tag{5}$$

where X_i is the set of the design variable x_i, which may be continuous or discrete. When discrete design variables are only used, then the available set of values is clearly defined. When continuous design variables are considered, then the above restriction is usually written as

$$x^L \le x \le x^U \tag{6}$$

where x^L and x^U are two vectors of length n containing the lower and upper bounds of the design variables, respectively. In the present study, a discrete optimization problem is studied, where the design variables are the cross sections of the elements of the steel structure, which belong to predefined sets given by the manufacturers, as described in detail in the numerical examples section.

The structural optimization problems strength constraints for members subjected to axial force and bending are expressed according examined in the present study are based on Eurocode 3, for Ultimate limit state (ULS) and Serviceability Limit State (SLS) as follows:

$$value1 = \frac{N_{Ed}}{Af_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{W_y f_y \gamma_0} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{W_z f_z / \gamma_{M0}} \le 1 \tag{7}$$

where: N_{Ed}, $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$, are axial force, bending moment around y - axis and bending moment around z - axis, respectively, $\Delta M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ is the excentricity moments due to the shifting the neutral axis at the cross-sections of class 4, W_y, W_z, plastic, elastic or effective section modulus around y and z - axis, depending of cross-section class, respectively, A is a section area and f_y is Yield stress of steel, γ_{M0} is the partial safety factor (γ_{M0} = 1.00 according to EC3), $A_{v,y}$, $A_{v,z}$ is shear area for y - axis and z - axis, respectively.

The above ULS constraints are checked for the following load combinations:

- $1.35G + 1.50Q$
- $1.35G + 1.50Q + 0.60 \cdot 1.50W$
- $1.35G + 1.50W + 0.50 \cdot 1.50Q$

where G are the dead loads, Q are the live loads, W are the wind loads on the structure.

$$value2 = \frac{250|v_z|}{L} \leq 1 \tag{8}$$

for the following load combinations:

- *1.00Q + 0.60W*
- *1.00W + 0.70Q*

where v_z is the vertical displacement at the middle of a beam element.

Geometric constraints are considered between beams and columns framing into each other at a common joint for practicality of an optimum solution generated.

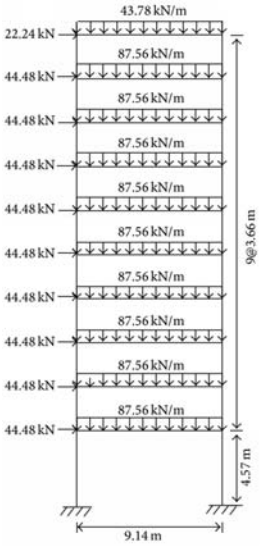


Figure 2: Elevation of the one-bay ten-story example structure

This example is a one-bay and ten-story steel frame shown in Figure 2. The same section is used for beam members in every three stories except for the roof. The same section is used for column members in every two stories. All European IPB (HEB) shapes, steel grade S355JR, are considered for available sections for both beams and columns as shown in Figure 2. This frame was studied for discrete design variables in literature by Pezeshk et al. (Pezeshk, S., Camp, C.V., Chen, D., 2000) using GA, Camp et al. (Camp, C.V., Bichon, B.J., Stovall, S.P. 2005) using ACO and Kaveh and Talatahari (Kaveh, A., Talatahari, S. 2010) using IACO. There problem was treated with W-shapes from AISC-LRFD (American Institute of Steel Construction). At the end of a study results are compared to the ones obtained in the literature. The accuracy of the analysis results is verified by a direct comparison to the corresponding results of a reliable commercial finite element software program. It should be noted that the problem was also treated with continuous variable in some literature, but welded profile with defined thicknesses of plates increases the cost and time of manufacture, so that the authors believed that these solutions may be less optimal.

The solution of the design problem is obtained in an iterative manner. The area variables are changed during iterations with the aim of obtaining a better design. It is apparent that the new values of design variables are decided by the most severe design constraint in every design cycle. This necessitates obtaining an expression for updating these variables depending upon whether the displacement, stress, or the buckling constraints are dominant in the design problem. If neither of these constraints is dominant, then the area variable is decided by the minimum-size limitation.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The SSA algorithm uses 100 generations with a population size 20 resulting in 5400 frame analyses to converge to a solution. The required frame analyses to converge to a solution for the SSA algorithm is more than 3000, 3690, and 2500 analyses required by GA, HS, and IACO except the 8300 analyses required by ACO.The best possition of female mass is at the top story, the second and third columns contain minimum weight and minimum number of analyses for best runs, respectively. Comparison of the results obtained in this study with the referential from the literature is conducted in the Table 1. It is expected that these results are somewhat weaker than previous ones, because of the specific cross-sections (HEB) and the diversity of current technical regulations in Europe and America.

Table 1: The comparison results of different algorithm with the present study

	Construction element	Optimal W-shaped section					HEB
		GA	ACO	HS	IACO	CS	Present study
1	Column 1-2 S	W14x233	W14x233	W14x211	W14x233	W14x233	HEB 1000
2	Column 3-4 S	W14x176	W14x176	W14x176	W14x176	W14x176	HEB 800
3	Column 5-6 S	W14x159	W14x145	W14x145	W14x145	W14x132	HEB 700
4	Column 7-8 S	W14x99	W14x99	W14x90	W14x90	W14x109	HEB 650
5	Column 9-10 S	W12x79	W12x65	W14x61	W12x65	W14x61	HEB 300
6	Beam 1-3 S	W33x118	W30x108	W33x118	W33x118	W33x118	HEB 700
7	Beam 4-6 S	W30x90	W30x90	W30x99	W30x90	W30x108	HEB 500
8	Beam 7-9 S	W27x84	W27x54	W24x76	W24x76	W24x55	HEB 320
9	Beam 10 S	W24x55	W21x44	W18x46	W14x30	W14x40	HEB 240
Optimal weight (kg)		29545.19	28399.42	28061.04	28030.20	28156.29	30874.76

The constraints used in the present study were based on Eurocode 3, but in fact not all Eurocode 3 constraints for steel structures have been implemented in the test examples. The first and second order imperfection are used in a consideration only during the calculation process, but not in optimization. Most importantly, additional buckling constraints need to be taken into account, as they are many times critical in real world steel structures design.

5. CONCLUSION

Determination of optimal dimensions of cross sections can be very difficult for the designers, with the consideration of many constraints. In a frequency constraint frame layout and size optimization problem with the aim to minimize the weight of the structure, it is proven that SSA can be an effective tool.

Acknowledgement

The paper is part of the project TR 36017, financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

[1] Aviles, L. (1986). Sex-ratio bias and possible group selection in the social spider Anelosimus eximius. Am. Nat. 128(1), 1–12.

[2] Burgess, J. W. (1982). Social spacing strategies in spiders. In: Rovner, P.N. (ed.) Spider Communication: Mechanisms and Ecological Significance. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, pp. 317–351.

[3] Camp, C.V., Bichon, B.J., Stovall, S.P. (2005). Design of steel frames using ant colony optimization. J Struct Eng ASCE 131:369–379.

[4] Cuevas, E. et al.(2016). Advances of Evolutionary Computation: Methods and Operators, Studies in Computational Intelligence 629. Springer International Publishing Switzerland.

[5] Eric, C., Yip, K.S. (2008). Cooperative capture of large prey solves scaling challenge faced by spider societies. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105(33), 11818–11822.

[6] Kaveh A.(2014). Advances in Metaheuristic Algorithms for Optimal Design of Structures, Springer.

[7] Kaveh, A., Talatahari, S. (2010). An improved ant colony optimization for the design of planar steel frames. Eng Struct 32:864–873.

[8] Maxence, S. (2010). Social organization of the colonial spider Leucauge sp. in the Neotropics: Vertical stratification within colonies. The. J. Arachnology 38, 446–451.

[9] Pezeshk, S., Camp, C.V., Chen, D. (2000). Design of nonlinear framed structures using genetic optimization. J Struct Eng ASCE 126:382–388.

[10] Plevris, V., Batavanis, A., Papadrakakis M. (2011). Optimum design of steel structures with the particle swarm optimization method based on EC3. 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Corfu, Greece.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ГЕОИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ОБЈЕКТИМА КАНАЛИЗАЦИОНИХ МРЕЖА

ASSET MANAGEMENT GEOINFORMATION SYSTEM FOR SEWERAGE

ГОРАН ЋИРОВИЋ[1], ЗОРАН ПОПОВИЋ[2], , ВУЛЕ АЛЕКСИЋ[3],

[1] Висока грађевинско-геодетска школа, cirovic@orion.rs
[2] Висока грађевинско-геодетска школа, zoranpopovic@vggs.rs
[3] Висока грађевинско-геодетска школа, gvule@sezampro.rs

Резиме: *У раду се истичу кључни елементи менаџмента инфраструктурних објеката и улога савремених геоинформационих система. Даје се пример примене ГИС -а и ИТ технологија за случај канализационих мрежа.*

Кључне речи: *Менаџмент инфраструктурних објеката, GIS, DBMS.*

Abstract: *The paper highlights the key elements of the management of infrastructure objects and the role of modern geoinformation systems. An example of GIS and IT technologies in the case of sewerage networks,is presented.*

Keywords: *Infrastructure management, GIS, DBMS.*

1. Увод

Циљ савременог менаџмента инфраструктурних објеката (у даљем тексту скраћено МИО) је да постигне договорени ниво пружања услуга на најекономичнији начин, примењујући савремене информационе и геоинформационе системе.

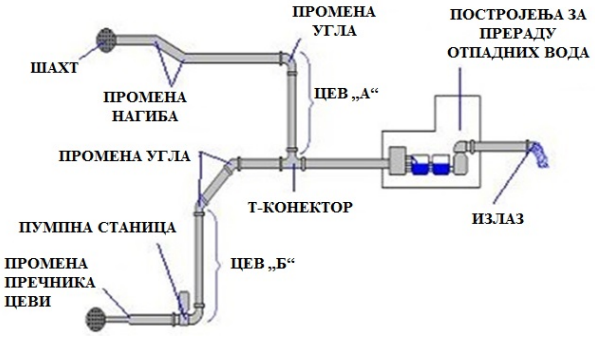
Кључни елементи МИО приступа обухватају [1]:

- узимање у обзир целокупног животног циклуса објеката
- развијање стратегије најекономичнијег управљања за дугорочне циљеве
- обезбеђивање дефинисаног нивоа услуга и праћење перформанси рада
- управљање ризицима који се односе на отказ рада објеката
- одрживо коришћење физичких (природних) ресурса
- континуирано побољшање у свим аспектима свакодневног управљања инфраструктурним објектима и др.

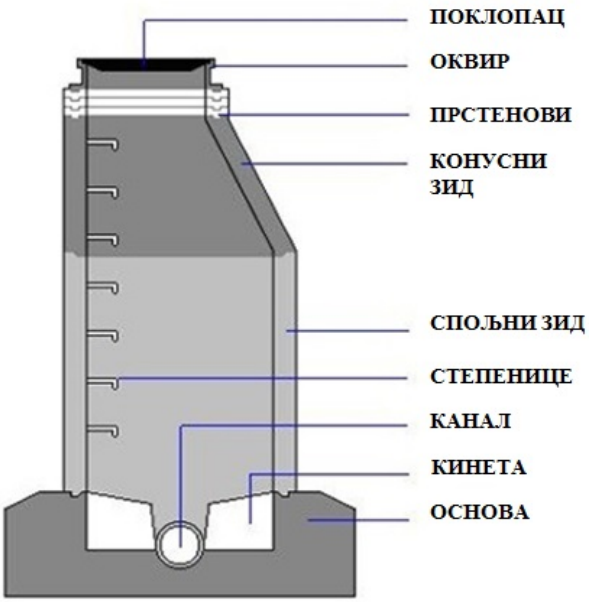
МИО планирање може бити иницијално започето тако да се достигне минимум захтева изражених у законској регулативи и интерним прописима у организацији. Ово се сматра основним приступом МИО питањима и оно најчешће обезбеђује следеће:

- регистар објеката у мрежи, са мањим нивоом детаља
- праћење стања и перформанси
- анализu ризика; идентификацију критичних објеката у мрежи
- трошкови/корист анализе за потребе планирања капиталних инвестиција
- ниво пружања услуга заснован на познавању перформанси рада објеката из протеклих периода
- коришћење информационих система са савременим ИЦТ технологијама

У овоме раду користићемо примере из домена канализације. Компоненте ових мрежа обухватају објекте као што су цеви, вентили, резервоари, пумпе, хидранти, постројења за пречишћавање и друге (сл. 1 и сл. 2.).

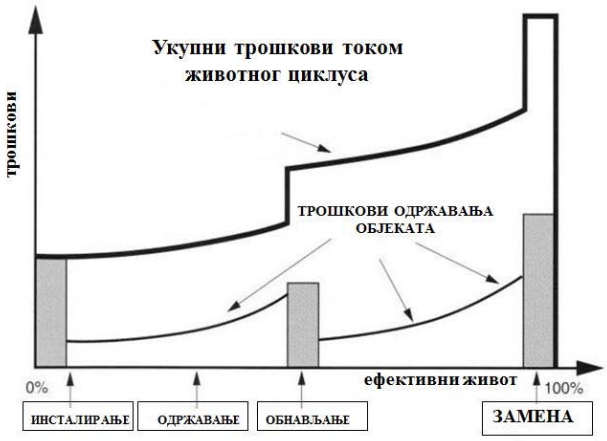


Слика 1: Основне компоненте канализационе мреже



Слика 2: Компоненте шахта

Током времена, објекти ових мрежа пропадају и губе своју вредност. Последично, трошкови одржавања и замена постају све већи, уз тешкоће одржавања и достизања захтеваног нивоа услуга, па управљање овим системима постаје све теже и скупље, сл. 3.



Слика 3: Профил трошкова током животног циклуса

2. ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ ЗА МИО

Савремени геоинформациони системи пројектовани су за рад у интегрисаном окружењу информатичких технологија, које обухвата следеће архитектуре:

- техничку (сервери, радне станице, периферијски уређаји)
- комуникацијску (компјутерске мреже - LAN, WAN i dr.)
- апликацијску (системски софтвер, кориснички софтвер који обухвата МИО софтвер, ГИС и др.)
- архитектуру података (дефинисање модела података и др.)

Са гледишта апликацијске архитектуре, кључни атрибути савременог МІО софтвера су:

- раде у мрежном окружењу на различитим хардверским платформама
- користе стандардне системе за управљање базама података (DBMS), као што су на пример Oracle, SQL Server, PostgreSQL и други
- модуларност и могућност интеграције са пословним системима (документ менаџмент системи - EDMS; интеракција са клијентима - CRM; системи из домена финансија и др.)
- интеграција са географским информационим системом (ГИС): кастомизација, локализација
- могућност импорта података из разних извора (на пример скенера бар кода, дата логера, преносних рачунара, SCADA система, итд.)
- омогућавају просторне анализе, ефикасно генерисање извештаја и др.

Типични софтверски модули обухватају:

- Регистар објеката
- ГИС функционалност
- Рачунање вредности објеката
- Утврђивање стања
- Предвиђање кварова
- Праћење перформанси
- Менаџмент ризика
- Доношење оптималних одлука
- Планирање капиталних инвестиција
- Трошкове у току животног циклуса
- Одржавање
- Менаџмент ресурса и друге и др.

Интеграција МИО софтвера са ГИС технологијом, као и са пословним системима, суштински је важна за ефективан и ефикасан менаџмент инфраструктурних система, из следећих разлога :

- актуелни подаци се чувају на једном месту у интегрисаном окружењу просторних и атрибутних података
- објекти могу бити лако идентификовани коришћењем ГИС софтвера, помоћу просторних и/или атрибутних података
- унос података у ГИС окружењу брз је и ефикасан са минимизирањем грешака код уноса
- елиминише се потреба за уносом интелигентних идентификатора за објекте, што се обично везује за спорији унос путем тастатуре и неизбежне грешке код уноса и др.

3. ПРИМЕР

Са гледишта софтвера, на тржишту се могу наћи готови софтверски пакети који су усклађени са принципима МИО методологије. Поред тога, многе организације саме развијају апликације да би их прилагодили својим пословним процесима.

Опција коју овде представљамо јесте кастомизација ГИС софтвера са додатним апликацијама које прате пословање организације из овога домена.

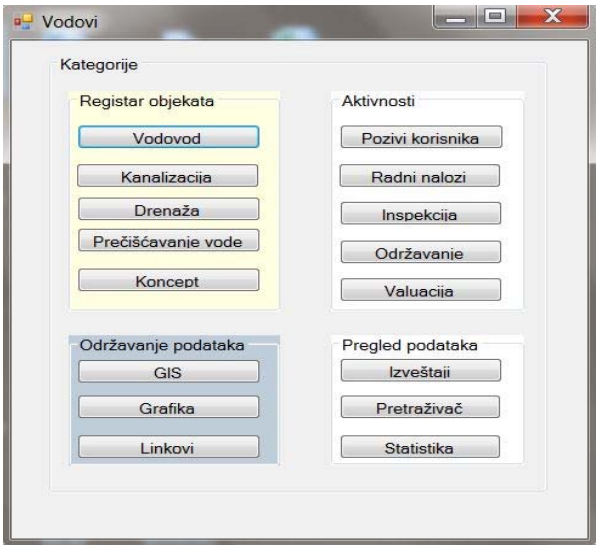
1. У примеру је коришћена следећа технологија, табела 1:

Табела 1: Алати коришћени за израду апликација

	Софтвер	Опис
1	SQL Server 2014	систем за управљање базама података - DBMS
2	MapInfo Professional 11 (P.B.)	ГИС софтвер
3	Microsoft Visual Studio (C#)	развојно софтверско окружење
4	MapBasic 11 (P. B.):	програмски језик за развој додатних алата и функционалности за MapInfo
5	Crystal Reports:	софтвер за дизајнирање извештаја
6	Microsoft SQL Server Reporting Services - Report Builder 3.0	софтвер за дизајнирање извештаја:- интегрисано окружење са SQL Server -ом
7	Microsoft Excel 2010	Интеракција са SQL Server -ом - креирање извештаја

Подаци су складиштени у геопросторној бази SQL Server 2014 ([4], у складу са ISO стандардима датим у [2] и [3]. Може им се приступити *desktop* или *web* ГИС алатима. У овоме проимеру коришћена је десктоп верзија MapInfo (PB).

2. главна форма апликације садржи опције подељене у категорије послова (тачка 2), сл. 4.

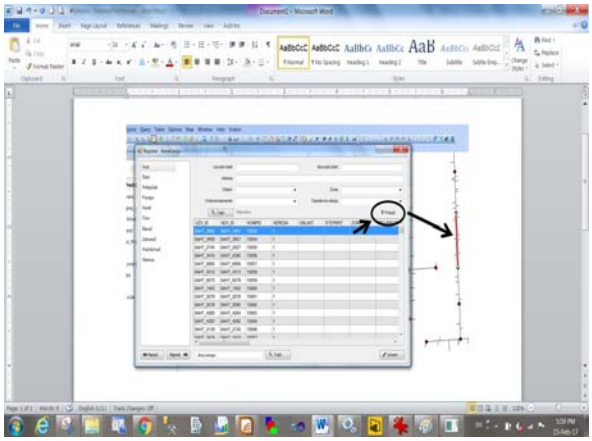


Слика 4: Почетна форма апликације

3.Опцијом ГИС из категорије Одржавање података отвара се ГИС софтвер MapInfo, сл. 5.

Слика 5: Додате опције у MapInfo

Опција менија **Водови/Kanalizacija/Registar** (урађена у MapBasic -у) отвара C# апликацију и коришћењем ГИС машине одвија се интеракција софтвера који прате пословне процесе из овога домена, сл. 6.

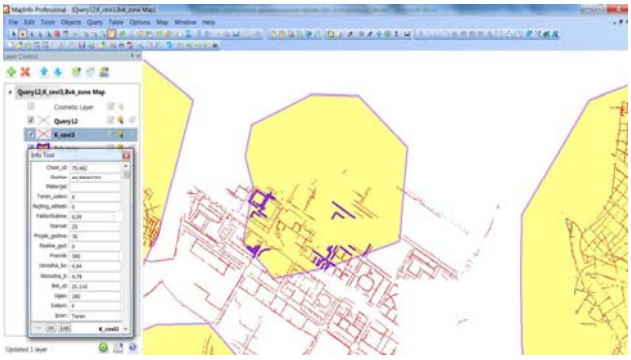


Слика 6: Веза атрибутних и просторних података

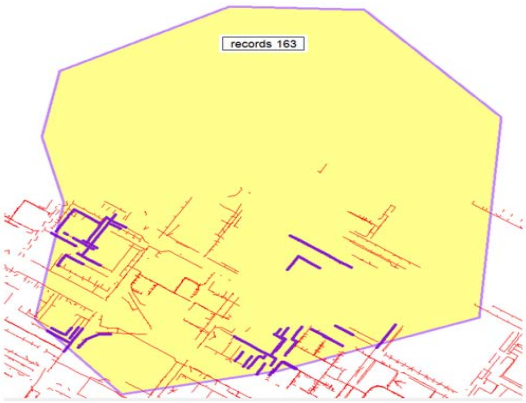
4. Једна од опција која се у раду често користи јесте и претраживање података, тј. постављање упита кроз апликацијске форме.

На сл. 7а сл.7б приказан је резултат просторног упита у ГИС софтверу: тражи се укупан број канализационих цеви, са следећим ограничењима при претраживању:

- само мрежне цеви у термалној зони број 3
- материјал непознат, тј. нема података
- старије од 20 година

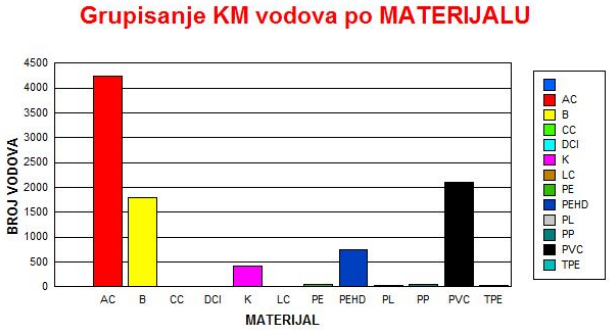


Слика 7а: Резултат просторног упита добијен пресеком два лејера: **цеви** и **геотермалне зоне**



Слика 7б: Резултат просторног упита добијен пресеком два лејера: **цеви** и **геотермалне зоне**

5. Резултат упита и генерисање извештаја дат је сл. 8а и сл. 8б.



Слика 8а: Резултат упита урађен кроз апликацијску форму

Слика 8б: Резултат упита урађен кроз апликацијску форму а затим стилизован у Excel -u

4. ЗАКЉУЧАК

У већини савремених економија, законском регулативом су усмеравани поступци за доношење краткорочних и дугорочних МИО планова, који су обавезујући за све организације који пружају услуге и сервисе из домена инфраструктурних објеката. Уз ово, обавеза ових организација је и да користе савремене геоинформационе системе код укупног процеса менаџмента инфраструктурних објеката који обухвата стратешко, тактичко и оперативно планирање.

ЗАХВАЛНОСТ

Рад је део пројекта ТР 36017, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

[1] International Infrastructure Management Manual, 2011/2006 V.3 Edition, ISBN No: 0-473-10685-X.
[2] ISO 19125-1:2004: Geographic information -- Simple feature access -- Part 1: Common architecture.
[3] ISO 19125-2:2004: Geographic information -- Simple feature access -- Part 2: SQL option.
[4] Varga, S., Cherry, D., D'Antoni J: Introducing SQL Server 2016, Microsoft Press, 2016.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE PRI PROCENI VREDNOSTI NEPOKRETNOSTI

THE APPLICATION OF THE MULTI CRITERIA ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF THE VALUATION OF REAL ESTATE

SLOBODAN JOVOVIĆ[1]

[1] Visoka građevinsko-geodetska škola, slobodanjovovic@vggs.rs

Rezime: *Procena vrednosti nepokretnosti označava ekspertsko mišljenje o vrednosti, koja je rezultat sistematskog pristupa u postupku utvrđivanja vrednosti nepokretnosti. U složenijim problemima primena pojedinačnih standardnih metoda procene nepokretnosti ne daje zadovoljavajuće rezultate pa se mora primeniti višekriterijumska analiza, odnosno primena kombinacija više standardnih metoda procene i pravilno vrednovanje raspoloživih podataka.*

Ključne reči: *Procena vrednosti nepokretnosti, Višekriterijumska analiza, Vrednovanje podataka.*

Abstract: *Assessment value of the real estate indicates a professional opinion about the value, which is the result of systematic approach in the procedure of estimating the value of real estate. In complex problems the use of individual standard methods of evaluation of the real estate is not giving an acceptable result, so it is mandatory to use multi criteria analysis, that is the use of combined standard methods of evaluation and correct assessment of given data*

Keywords: *Valuation of real estate, Multi criteria analysis, Evaluation of data.*

1. UVOD

Procena vrednosti nepokretnosti je odgovoran i složen zadatak koji podrazumeva sveobuhvatnu analizu tržišnih uslova i dostupnih informacija u vreme vršenja procene [5]. Definicija tržišne vrednosti zahteva od procenitelja da dođe do konačne tržišne vrednosti, dok se u praksi smatra prihvatljivim da procenitelji mogu svoje mišljenje izraziti i u okviru nekog ranga mogućih vrednosti. U postupku procene vrednosti nekretnina mogu se koristiti razne kombinacije pristupa i metoda. Izbor metoda zavisi i od kvaliteta i dostupnosti podataka kao i od svrhe procene. Teoretski, u uslovima postojanja perfektnih informacija, pravilna primena bilo kog metoda bi dovela do identičnog rezultata. Međutim, u realnosti i praksi, gde nema savršenih informacija, ove metode bi trebalo da korespondiraju jedna drugoj, i najčešće se procene vrše na bazi primene najmanje dva pristupa. Takođe, investitori, kreditori i vlasnici nekretnina moraju biti upoznati sa tehnikama procene i pretpostavkama koje su prethodile proceni vrednosti.

Do nedavno je na području vrednovanja nepokretnosti nije postojala nikakva obavezujuća pravna i tehnička regulativa koja bi uredila ovu oblast poslovanja. Procenu vrednosti nepokretnosti vrše sudski veštaci građevinske i geodetske struke ili komisije poreske uprave bez prethodne provere njihovih znanja i sposobnosti. Posledica takvog stanja je da se često dobijaju procene koje ne odgovaraju zadatku odnosno svrsi procene.

Ministarstvo finansija je pokušalo da uvede pravila poslovanja u ovoj oblasti donošenjem Zakona o proceniteljima vrednosti nepokretnosti [4]. Ovim zakonom uređuju se uslovi i način vršenja procene vrednosti nepokretnosti od strane licenciranih procenitelja, stručna osposobljenost lica i uslovi za dobijanje licence za vršenje procene vrednosti nepokretnosti, obaveznost procene vrednosti nepokretnosti u skladu sa ovim zakonom, nadzor nad vršenjem procene vrednosti nepokretnosti, provera rada licenciranih procenitelja, disciplinska odgovornost licenciranih procenitelja, osnivanje i nadležnosti Stručnog odbora, akreditovana udruženja procenitelja, kao i druga pitanja u vezi sa vršenjem procene vrednosti nepokretnosti od strane licenciranih procenitelja.

2. OSNOVINI POJMOVI

Tržišna vrednost predstavlja cenu koju je moguće postići u datom trenutku na tržištu. Cena koju je moguće postići u datom trenutku na tržištu se sastoji od opsega koji čini donja granica tržišne vrednosti, realno očekivana tržišna vrednost i maksimalno očekivana tržišna vrednost.

- **Donju granicu tržišne vrednosti** nepokretnosti predstavlja cena koju je sa velikom izvesnošću moguće postići na tržištu u kratkom vremenskom periodu sa većinom kupaca.
- **Realno očekivanu tržišnu vrednost** nepokretnosti predstavlja cena koju je moguće postići sa izvesnošću u razumnom roku sa većinom potencijalnih kupaca.
- **Maksimalno očekivanu tržišnu vrednost** nepokretnosti predstavlja cena koju je sa ograničenom izvesnošću moguće postići u kratkom vremenskom periodu sa malim brojem kupaca koji su iz subjektivnih razloga posebno zainteresovani za predmetnu nepokretnost.

Odnos ponude i tražnje definiše u kom delu opsega tržišne vrednosti nepokretnosti će se kretati postignuta prodajna cena.

- **U slučaju da je ponuda veća od tražnje** vremenski period za postizanje prodajne cene će biti duži, a prodajna cena će se kretati uglavnom između donje granice tržišne vrednosti i realno očekivane tržišne vrednosti nepokretnosti.
- **U slučaju da je ponuda manja od tražnje** vremenski period za postizanje prodajne cene će biti kraći a prodajna cena će se kretati uglavnom između realno očekivane tržišne vrednosti i maksimalno očekivane tržišne vrednosti nepokretnosti.

Procena vrednosti nepokretnosti označava ekspertsko mišljenje o vrednosti, kao i postupak utvrđivanja vrednosti, na osnovu sistematskog pristupa, koji obuhvata sledeće aktivnosti:

- Identifikacija nepokretnosti koja se procenjuje (fizička i pravna) – **šta se procenjuje**;
- Identifikacija prava nad nepokretnostima koja se procenjuju – pravo svojine, zakupa, raspolaganja, postojeća ograničenja;
- Utvrđivanje svrhe procene – **zašto se radi procena**;
- Utvrđivanje datuma procene – **na koji datum se određuje vrednost nepokretnosti**;
- Izbor odgovarajuće metode procene – jedna ili kombinacija više metoda;
- Prikupljanje, analiza i vrednovanje podataka koji su potrebni za izabrani metod procene;
- Primena izabrane metodologije procene;
- Donošenje zaključka o vrednosti i izrada izveštaja.

Odnos ponude i tražnje definiše u kom delu opsega tržišne vrednosti nepokretnosti će se kretati tržišna cena.

- U slučaju da je **ponuda veća od tražnje** vremenski period za postizanje prodajne cene će biti duži, a prodajna cena će se kretati uglavnom između donje granice tržišne vrednosti i realno očekivane tržišne vrednosti nepokretnosti.
- U slučaju da je **ponuda manja od tražnje** vremenski period za postizanje prodajne cene će biti kraći a prodajna cena će se kretati uglavnom između realno očekivane tržišne vrednosti i maksimalno očekivane tržišne vrednosti nepokretnosti [2].

3. METODE ZA PROCENU NEPOKRETNOSTI

U proceni nepokretnosti koriste se tri svetski priznate metode procene i to:

- **troškovna metoda** (*engl. cost approach*), metoda utvrđivanje stvarne vrednosti, troškovni pristup, statistički pristup-troškovna metoda,
- **komparativna metoda** (*engl. sales comparison approach)*, metoda upoređenja prodaje, direktno upoređenje prodajnih cena, i
- **prinosna metoda** (*engl. income capitalization approach)* bazira se na pretpostavci da vrednost imovine zavisi od njene mogućnosti da generiše profit za vlasnika. U praksi se najčešće koriste dve metode ovog pristupa: metod direktne kapitalizacije i metod diskontovanja novčanih tokova.

Četvrta metoda je **metoda rezidualne vrednosti** koja se u ekonomskoj teoriji naziva "***backward pricing***" ima specifično područje primene. Ova metoda daje očekivanu tržišnu vrednost nakon realizacije objekta, umanjuje za troškove izgradnje bez cene zemljišta, da bi se dobila vrednost koja se sme utrošiti za pribavljanje zemljišta [1].

3.1. Troškovna metoda (*engl. cost approach*),

Primena troškovne metode podrazumeva obračun svih troškova da se lokacija pribavi i izgradi objekta na legalan i tehnički prihvatljiv način (obračun proizvodne cene objekta), pretpostavlja se da investitor neće za nepokretnost platiti veću cenu, nego što bi ga koštalo da kupi zemljište i izgradi objekat.

U slučaju izgradnje stambenog ili poslovnog objekta to podrazumeva:

- pribavljanje lokacije,
- izrada i overa tehničke dokumentacije,
- plaćanje svih komunalnih doprinosa i taksi,
- pribavljanje građevinske dozvole,
- izvođenje radova uz poštovanje svih propisa,
- izvršen tehnički prijem,
- pribavljanje upotrebne dozvole i
- uknjižba objekta.

Vrednosti dobijene primenom troškovne metode su relativno konstantne u dužim vremenskim periodima i nalaze se u donjem opsegu tržišne cene. Od navedenih parametara najviše varira vrednost pribavljanja lokacije koja predstavlja 30% do 60% ukupne vrednosti nepokretnosti, ostali parametri koji se obračunavaju u ovoj metodi su relativno konstantni. Ako se lokacija razvija i postaje atraktivna za postojeću urbanističku namenu vrednost se može i višestruko uvećati, što je slučaj se cenom građevinskog zemljišta u centralnim urbanim zonama. Ako predmetna lokacija gubi na atraktivnosti što se dešava u delovima naselja koja izumiru može se desiti da tržišna cena nepokretnosti bude ispod njene proizvodne vrednosti.

Pri primeni ove metode za objekte veće starosti mora se obračunati i amortizacija (fizička i funkcionalna), u odnosu na godinu izgradnje ili poslednje rekonstrukcije.

Treba naglasiti da se vrednost zemljišta ne amortizuje a da svaki od elemenata objekta ima različitu stopu amortizacije zavisno od kvaliteta i veka trajanja.

U zavisnosti od svrhe procene primenjivost ove metode je različita

- Pri postupcima eksproprijacije je vrlo primenjiva kao donja granica vrednosti uz maksimalnu amortizaciju do 30%
- Pri proceni za hipotekarni kredit na daje pouzdane rezultate
- Pri proceni javnih i infrastrukturnih objekata je nekad i jedina primenjiva metoda

3.2. Komparativna metoda (*engl. sales comparison approach*),

Pristup direktnog upoređivanja prodajnih cena zasniva se na informacijama sa tržišta o kupoprodajnim transakcijama, ili cena iz ponuda, za nepokretnosti koje su uporedive sa nepokretnosti čija se vrednost procenjuje. Pored toga, potrebno je da uporedive transakcije budu između nepovezanih lica i pod normalnim tržišnim okolnostima.

U postupku procene, neophodno je izvršiti vrednovanje prikupljenih podataka i korigovanje dobijenih vrednosti, za sva bitna odstupanja nepokretnosti za koje se vrši poređenje, po osnovu: lokacije, blizine saobraćajnica, prateće infrastrukture, veličine objekta i urbanističkih parametara, kvaliteta gradnje, godine izgradnje ili adaptacije, tekućem i investicionom održavanju i izvršenim dodatnim ulaganjima do dana procene, vremenskom periodu od obavljene transakcije do dana procene.

Najčešće se za svaku od uporedivih nepokretnosti vrši formiranje cene po metru kvadratnom, da bi se ona poredila sa tržišnom vrednošću predmetne nepokretnosti. Karakteristike uporedivih nepokretnosti koje su kvalitetnije u odnosu na predmetnu nepokretnost, korigovaće cenu po kvadratnom metru naniže, dok će se za lošija nepokretnosti korigovati cena naviše. Sva korigovanja cene naviše ili naniže, procenitelj zasniva na poznavanju tržišta i načina na koji pojedine karakteristike mogu da utiču na cenu. Ovaj proces je u priličnoj meri subjektivan i zahteva iskustvo procenitelja, inače može doći do ozbiljnih grešaka.

Za obračun se koristi jednačina za „ponderisanu aritmetičku sredinu“ (1) koja glasi:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i * p_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} = \frac{x_1 * p_1 + x_2 * p_2 + \cdots + x_n + p_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n} \tag{1}$$

x_i – korigovani iznos u €/m^2

$\bar{x}$ – ponderisana aritmetička sredina

p_i – koeficijent pouzdanosti (težinski koeficijent)

Tabele vrednovanja prikupljenih podataka:

R. br.	Izvor podatka	Iznos €/m^2	Korektivni koeficijent	Korigovani iznos €/m^2	Koeficijent pouzdanosti

R. br.	Izvor podatka	Iznos €/m²	Korektivni koeficijent	Korigovani iznos €/m²	Koeficijent pouzdanosti
1	Statistički podaci	1.500 €/m²	10%	1.650 €/m²	0,3
2	Poreska uprava	1.700 €/m²	-6%	1.598 €/m²	0,8
3	Baza podataka RGZ- a	1.350 €/m²	20%	1.620 €/m²	0,5
4	Javna licitacija	1.680 €/m²	-5%	1.596 €/m²	1
5	Agencija za promet	1.800 €/m²	5%	1.890 €/m²	0,9
6	Odluke LPA	1.750 €/m²	7%	1.873 €/m²	0,7
7	Javni oglasi	2.000 €/m²	-10%	1.800 €/m²	0,7
8	Ugovori	1.200 €/m²	20%	1.440 €/m²	0,6
9	Nalazi veštaka	1.680 €/m²	6%	1.781 €/m²	0,9
10	Ugovor overen kod notara	1.700 €/m²	0%	1.700 €/m²	1
PONDERISANA SREDNJA VREDNOST					**1.705 €/m²**

Primena navedene metode:

- Ukoliko postoje relevantni podaci o postignutom prometu odgovarajućih nepokretnosti u zahtevanom vremenskom periodu ovu metodu je najlakše primeniti i dobijaju se pouzdani rezultati
- U najvećem broju slučajeva nisu svi uslovi ispunjeni pa procenitelj mora vrednovati (pondreisati) svaki od prikupljenih podataka da bi odredio realnu vrednost predmetne nepokretnosti
- Za neke vrste nepokretnosti ne postoje podaci o postignutom prometu pa ova metoda nije primenjiva (proizvodni, javni, infrastrukturni objekti, područja na kojima se vrši eksproprijacija…)

3.3. Prinosna metoda (*income capitalization approach)*

Ova metoda u proceni vrednosti nekretnina se bazira na pretpostavci da vrednost imovine zavisi od njene mogućnosti da generiše profit za vlasnika. U praksi se najčešće koriste dve metode ovog pristupa:

- metod direktne kapitalizacije, i
- metod diskontovanja novčanih tokova.

Metodom direktne kapitalizacije koristi statički pristup pri čemu se najpre izračunava neto operativni prihod (Net Operating Income – NOI) za uporedive nepokretnosti u vreme njihove prodaje, koji predstavlja iznos koji se dobija oduzimanjem tekućih troškova od bruto prihoda nepokretnosti, ostvarenih od renti za iznajmljeni prostor i drugih prihoda na godišnjem nivou. Stavljanjem u odnos tako utvrđenih neto operativnih prihoda i prodajne cene (C), dobija se stopa kapitalizacije (R) jednačina (2):

$$R = \frac{\mathrm{NOI}}{\mathrm{C}} \tag{2}$$

Nepokretnost za poređenje	Ostvarena cena [C]	Neto operativni prihod [NOI]	Stopa kapitalizacije [R]
Nepokretnost 1	100.000 €	9.500 €	0,095
Nepokretnost 2	80.000 €	7.250 €	0,091
Nepokretnost 3	120.000 €	10.200 €	0,085
Nepokretnost 4	72.000 €	6.800 €	0,094
Nepokretnost 5	135.000 €	11.600 €	0,086
Nepokretnost 6	68.000 €	6.520 €	0,096
Nepokretnost 7	75.000 €	7.200 €	0,096
Nepokretnost 8	90.000 €	6.400 €	0,071
Nepokretnost 9	58.000 €	5.500 €	0,095

Nepokretnost 10	63.000 €	6.000 €	0,095
Prosečna stopa kapitalizacije [$\bar{R}$]			**0,090**

Vrednost nekretnine koja je predmet procene, dobija se deljenjem očekivanog neto operativnog prihoda predmetne nepokretnosti sa stopom kapitalizacije, koja je dobijena iz podataka o transakcijama uporedivih nepokretnosti (u prethodnom primeru u tabeli, proizilazi da je prosečna vrednost stope kapitalizacije 0,09).

Za očekivan neto operativni prihod na godišnjem nivou NOI =15.000 €. Primenom formule dobija se moguća tržišna cena (3):

$$C = \frac{\text{NOI}}{\bar{R}} = \frac{15.000}{0,090} = 165.919,20\ € \tag{3}$$

Usvojena tržišna cena po ovoj metodologiji iznosi 166.000 €

Korišćenje ovog metoda ne garantuje investitoru da nekretnina koja je kupljena predstavlja dobru investiciju, već osigurava samo da nepokretnost nije plaćena više u odnosu na konkurentnu cenu na tržištu, tj. u odnosu na iznos koji su platili drugi investitori za slične nepokretnosti.

Metod diskontovanja novčanih tokova koristi dinamički pristup i bazira se na pretpostavci da investitor, za nekretninu neće platiti više nego što je sadašnja vrednost budućih prihoda koje nekretnina može da generiše u periodu njene eksploatacije [1].

Diskontna stopa po pravilu odražava cenu kapitala iz kojeg se projekat finansira. Pomoću diskontne stope sve vrednosti u budućnosti (u ovom konkretnom slučaju: prilivi i odlivi koji se ostvaruju korišćenjem predmetne nepokretnosti) svode se na sadašnju vrednost odnosno na realnu vrednost u vreme donošenja investicione odluke.

Procenitelj, na osnovu iskustva, poznavanja tržišta, odnosa ponude i tražnje, uslova rentiranja, kao i strukture prihoda i troškova, vrši projekciju budućih rezultata, odnosno godišnjeg neto prihoda koji se može očekivati od predmetne nepokretnosti.

Diskontovanje novčanih tokova vrši se utvrđivanjem neto sadašnje vrednosti novčanog toka za svaku godinu projekta, a zatim sabiranjem tako dobijenih vrednosti dobija se ukupna neto sadašnja vrednost projekta (4).

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \frac{NP_i}{1+\frac{d}{100}} \tag{4}$$

NPV - neto sadašnja vrednost (Net Present Value - NPV)

NP_i - neto prihod u i-toj godini eksploatacije

d - diskontna stopa

i - godina eksploatacije nepokretnosti

n - vek trajanja nepokretnosti

IRR - interna stopa povraćaja investicije **(Internal Rate of Return - IRR)**

Interna stopa povraćaja je ona diskontna stopa koja sadašnju vrednost neto novčanog toka projekta svodi na nulu u periodu eksploatacije predmetne nepokretnosti. Po svojoj sadržini interna stopa povraćaja pored rentabilnosti projekta pokazuje i najveću kamatnu stopu na kredite koju projekat može prihvatiti a da ne ostvaruje gubitak.

Investicija	Godišnji neto prihod	Procenat od vrednosti investicije
166.000 €	**15.000 €**	**9,04%**

Diskontna stopa [d]	**Period povraćaja investicije**	**IRR za period od 30 godina**
6%	18 godina	9,23%
8%	28 godina	
10%	100 godina	

U navedenom primeru za period eksploatacije od 30 godina interna stopa povraćaja investicije iznosi 9,23% što znači da je investicija od 166.000 € rentabilna ukoliko se ostvaruje neto godišnji prihod od 15.000 € i diskontna stopa nije veća od 9,23% za period eksploatacije od 30 godina.

4. ZAKLJUČAK

U zavisnosti od svrhe za koju se procena vrši zavisiće i pristup problemu i izbor optimalnih kombinacija metoda procene nepokretnosti.

Izdvojeno je nekoliko karakterističnih tipova procena vrednosti nepokretnosti:

1. Procene radi stavljanja hipoteke na postojeće nepokretnosti;
2. Procene radi dobijanja hipotekarnih kredita radi izgradnje predmetne nepokretnosti;
3. Procena radi isplate neisplaćene naknade za ranije eksproprisanu nepokretnost;
4. Procena vrednosti nepokretnosti pri aktuelnim postupcima eksproprijacije;
5. Procena vrednosti nepokretnosti u sudskim krivičnim, parničnim i izvršnim postupcima

1. Procene radi stavljanja hipoteke na postojeće nepokretnosti.
   Za standardne tipove nekretnina (stanovi, poslovni prostor, magacinski prostor) kada postoje relevantni podaci o ostvarenom prometu primenjuje se komparativna metoda, a kao kontrolna metoda se koristi troškovna metoda. Pri ovakvim procena posebnu pažnju treba obratiti na pravni status nekretnine koja se procenjuje.

2. Procene radi dobijanja hipotekarnih kredita radi izgradnje predmetne nepokretnosti.
   Ovde se najčešće radi o projektnom finansiranju pa je merodavna prinosna metoda, a kao kontrolne metode se primenjuju metoda upoređenja prodaje i troškovna metoda

3. Procena radi isplate neisplaćene naknade za ranije eksproprisanu nepokretnost.
   Ovo je najsloženiji problem jer se traži da se procena izvrši prema stanju nekretnine na dan izvršene eksproprijacije (što je često pre više decenija), a prema cenama na dan procene. Najveći problem predstavlja pribavljanje relevantnih podataka o cenama iz traženog perioda i njihovo vrednovanje (ponderisanje). Primenjuje se kombinacija komparativne i troškovne metode.

4. Procena vrednosti nepokretnosti pri aktuelnim postupcima eksproprijacije.
   U postupcima eksproprijacije procenitelj treba da se vodi principom da se za isplaćeni iznos može pribaviti slična nepokretnost na odgovarajućoj lokaciji. Na područjima gde se sprovode obimni postupci eksproprijacije često ne postoje podaci o prometu nepokretnosti pa se primenjuje troškovna metoda. Treba istaći da se u ovakvim postupcima stopa amortizacije obično ograničava do 30% iako se često radi o vrlo stari i devastiranim objektima. Posebnu pažnju treba obratiti na vrednost pribavljanja lokacije jer ona vuče veliki procenat vrednosti investicije. Kao kontrolna metoda primenjuje se komparativna metoda (za nepokretnosti u okolnim naseljima) kao gornja granica tržišne vrednosti

5. Procena vrednosti nepokretnosti u sudskim krivičnim, parničnim i izvršnim postupcima.
   Pri procenama u sudskim postupcima posebno u krivičnim postupcima veštak-procenitelj ima veliku odgovornost jer od njegovog izveštaja zavisi odluka suda. Treba posebno obratiti pažnju na relevantnost prikupljenih podataka i jasno obrazložiti svaki usvojeni parametar. Kako se najčešće radi o proizvodnim objektima kao osnovna metoda se primenjuje prinosna metoda, a kao kontrolna proizvodna metoda. U sudskim postupcima se mora izbegavati svaka neargumentovana pretpostavka i upotreba neproverenih podataka jer za nesavesan rad procenitelj može snositi i krivičnu odgovornost.

LITERATURA

[1] Goran Ćirović, Ognjan Luković, Finansijsko poslovanje i investicije u građevinarstvu, Viša građevinsko geodetska škola u Beogradu (2005).

[2] Miljan Pavlović, (AG Nekretnine) Metodi procene vrednosti nekretnina (2008)

[3] Slobodan Jovović, METODE PROCENE VREDNOSTI GRAĐEVINSKOG ZEMLjIŠTA“ Magistarska teza, Banja Luka, (2012).

[4] Službeni glasnik RS", broj 108/16

[5] Zoran Đurić, Knjiga - Metode procene vrednosti nekretnina (2009)

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

МЕНАЏМЕНТ ОБЈЕКАТА ПУТНЕ МРЕЖЕ

ROAD NEWTWORK ASSET MANAGEMENT

ZORAN POPOVIĆ[1], ZORAN ŽIVKOVIĆ[2], ZORA ALEKSIĆ[3],

[1] Visoka građevinsko-geodetska škola, zoranpopovic@vggs.rs
[2] Visoka građevinsko-geodetska škola, arhzorzi@orion.rs
[3] Visoka građevinsko-geodetska škola, office@vggs.rs

Резиме: *У раду се даје преглед савременог менаџмента објеката путне инфрструктуре, сакраћим прегледом функционалности једног од водећихсофтвера из ове области у свету*

Кључне речи: *менаџмент објеката путне инфраструктуре - МИО,животни циклус објеката, GIS, DBMS, RAMM*

Abstract: *The paper presents an overview of the road network asset management, and a short functionality overviewof the leading software in this domain, in the world.*

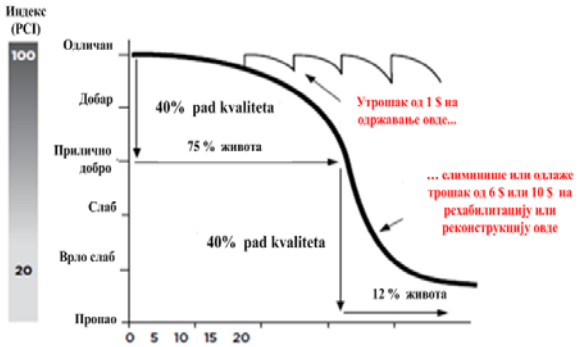
Keywords: *Infrastructure management, GIS, DBMS*

1. Увод

Путна инфраструктура (укључујући ауто путеве и све друге категорије путева), представља најважнију имовину једне државе. Добро одржавана и приступачна путна мрежа је фундаментална за економски, социјални и еколошки развој заједнице.Директно утиче на начин живота грађана, обезбеђујући при томе прихватљиве стандарде за брзину, сигурност, комфор и поузданост.

Временом, путеви постају све слабији и мање отпорни на оштећења од хабања, повећаног промета саобраћаја и утицаја климатских промена. Ово потврђују све чешћа, видљива оштећења на коловозу (рупе, слегнућа, поломљени саобраћајни знаци, оштећено путно осветљење и сл.).Стање објеката се све више погоршава, а трошкови одржавања увећавају, тако да и мала побољшања у одржавању, не реметећи интегритет подлоге, воде ка значајном смањењу трошкова.

Слика 1 илуструје криву трошења коловоза током животног циклуса. Правовремени превентивни и реактивни третмани подижу вредност објеката обнављањем и довођењем коловоза на захтевани ниво, спречавајући тако почетак рапидног пропадања. На тај начин, правовремена превентива и реактивни третмани могу произвести врло висок однос корист/трошкови параметара.У супротном случају, недовољно инвестирање води ка пропуштању оптималног временског оквира за третмане коловозапутне мреже, што последично води ка њиховој истовременој, рапидној, не линеарнојубрзаној деградацији. Резултат тога су увећани трошкови заосталих радова.



Сл. 1 Крива пропадања коловоза ([1])

Савремени менаџмент путних објеката велики је изазов за агенције које их по закону одржавају, како на националном тако и локалном нивоу, имајући у виду велика очекивања и захтеве за сигурна, поуздана и комфорна путовања. С друге стране, са гледишта агенција, буџети за одржавање често се умањују, што представља додатни притисак у њиховом свакодневном раду. Тако на пример, државна путна агенција Transit NZ одваја око 56 % годишњег буџета за генерално одржавање, замену хабајућег слоја, као и радове на рехабилитацији коловозне конструкције, како би одржала прихватљив ниво услуга и нормалну стопу (ниво) пропадања објеката ([2]).

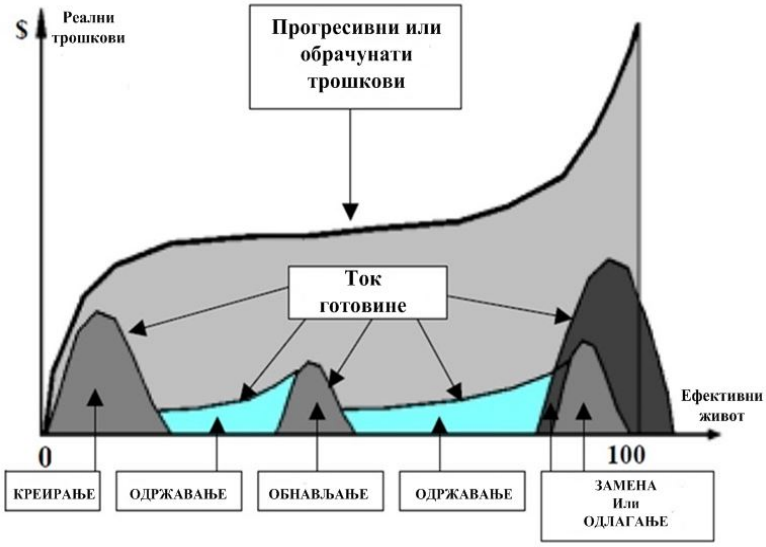
Последњих година 20-тог века искуство је показало да постојеће методологије одржавања траспортне инфраструктуре не могу више да задовоље захтеве индустрије и грађана и да се тражи од агенција које одржавају путеве:

- већа одговорност у ефективном коришћењу државних средстава
- повишена корелација између учинка (перформанси одржавања) и финансирања
- више одрживих транспортних решења

Да би се одржао захтевани ниво услуга као и квалитет путне мреже у дужем временском периоду, неопходан је комплекснији - пословни приступ менаџментупутне мреже. Овај савремени концепт менаџмента путне инфраструктуре, у даљем тексту скраћено МИО, карактерише у основи следеће ([2],[3], [4], [6]):

- боље користи ограничене ресурсе
- пружа ефикасно и ефективно одржавање путева
- ефикаснији менаџмент кроз планирање и оптимизацију одржавања
- користи стратегију дугорочног праћења фокусирајући се на превентивне активности које избегавају скупе краткорочне поправке
- стратегија је заснована на оптимизацији током животног циклуса објеката
- на прави начин користи државна средства, минимизирајући ризик који је инхерентан код инвестирања у одржавање путне мреже
- стратегије одржавања путева се примењују на нивоу читаве мреже успостављајући оптималну дистрибуцију инвестиција између разних опција одржавања, тј.***реактивно*** насупрот ***обнављању*** насупрот ***рехабилитацији***.
- побољшани менаџмент одржавања на мрежном нивоу (доношење прописа дизајнираних да се идентификују недостаци и генерални програми одржавања) или, нивоу пројекта (односи се на специфичне делове путева)
- бољи менаџмент ризика: смањење финансијских губитака и др.

Концептуални моделживотног циклуса (односи се на подлогуи површинске објекате путне мреже) приказан је на сл. 2. На слици је приказан проток финансијских средстава за одржавање објеката током времена. Трошкови одржавања изведени за време животног циклуса приказани су у тренутку када се појављују. Рутински трошкови одржавања јављају се између ових третмана. Обрачунати нето трошкови обухватају укупне расходе.Третмани планског одржавања који се изводе могу продужити очекивани животни век објеката применом одговарајућих структуралних побољшања. Крај животног циклуса је достигнут када се уради обнова са структуралним побољшањима у циљуновог пројектованог живота објекта.



Сл. 2Концептуални модел животног циклуса([2])

Организације користе МИО систем да би управљале, координирале и контролисале процесе управљања имовином путне инфраструктуре у оквиру пет кључних функционалних области:

- менаџмент путне инфраструктуре - МИО
- финансијски менаџмент
- менаџмент буџета
- пројектни менаџмент
- менаџмент перформанси

Међутим, не могу све активности менаџмента бити формализоване кроз МИО систем. На пр. аспекти руковођења, пословне културе, мотивације, понашања и друге имају значајан утицај на достизање циљева дефинисане МИО стратегије и као такве морају бити третиране коришћењем других стратегија организације.

Савремена методологија одржавања инфраструктурних објеката примењује се у развијеним државама последњих 20-так година, на принципима ISO стандарда и пратећих националних МИО докумената.

За имплементацију МИО система неопходни су софистицирани информациони / геоинформациони системи.

Имајући у виду ограничен простор, у оквиру овога рада дају се само основне карактеристике ових система.

2. ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ ЗА МИО

Савремени геоинформациони системи пројектовани су за рад у интегрисаном окружењу информатичких технологија, које обухвата следеће архитектуре:

- техничку (сервери, радне станице, периферијски уређаји)
- комуникацијску (компјутерске мреже - LAN, WAN i dr.)
- апликацијску (системски софтвер, кориснички софтвер који обухвата МИО софтвер, ГИС и др.)
- архитектуру података (дефинисање модела података и др.)

Са гледишта апликацијске архитектуре, кључни атрибути савременог МІО софтвера су:

- раде у мрежном окружењу на различитим хардверским платформама
- користе стандардне системе за управљање базама података (DBMS), као што су на пример Oracle, SQL Server, PostgreSQL и други
- модуларност и могућност интеграције са пословним системима (документ менаџмент системи - EDMS; интеракција са клијентима - CRM; системи из домена финансија и др.)
- интеграција са географским информационим системом (ГИС): кастомизација, локализација
- могућност импорта података из разних извора (на пример скенера бар кода, дата логера, преносних рачунара, SCADA система, итд.)
- омогућавају просторне анализе, ефикасно генерисање извештаја и др.

Типични софтверски модули обухватају:

- Регистар објеката
- ГИС функционалност
- Рачунање вредности објеката
- Утврђивање стања
- Предвиђање кварова
- Праћење перформанси
- Менаџмент ризика
- Доношење оптималних одлука
- Планирање капиталних инвестиција
- Трошкове у току животног циклуса
- Одржавање
- Менаџмент ресурса и друге и др.

Интеграција МИО софтвера са ГИС технологијом, као и са пословним системима, суштински је важна за ефективан и ефикасан менаџмент инфраструктурних система, из следећих разлога :

- актуелни подаци се чувају на једном месту у интегрисаном окружењу просторних и атрибутних података
- објекти могу бити лако идентификовани коришћењем ГИС софтвера, помоћу просторних и/или атрибутних података
- унос података у ГИС окружењу брз је и ефикасан са минимизирањем грешака код уноса
- елиминише се потреба за уносом интелигентних идентификатора за објекте, што се обично везује за спорији унос путем тастатуре и неизбежне грешке код уноса и др.

3. ПРИМЕР

Са гледишта софтвера, на тржишту се могу наћи готови софтверски пакети који су усклађени са принципима МИО методологије. Поред тога, многе организације саме развијају апликације да би их прилагодили својим пословним процесима.

Опција коју овде представљамо јесте кастомизација ГИС софтвера са додатним апликацијама које прате пословање организације из овога домена.

1. У примеру је коришћена следећа технологија, табела 1:

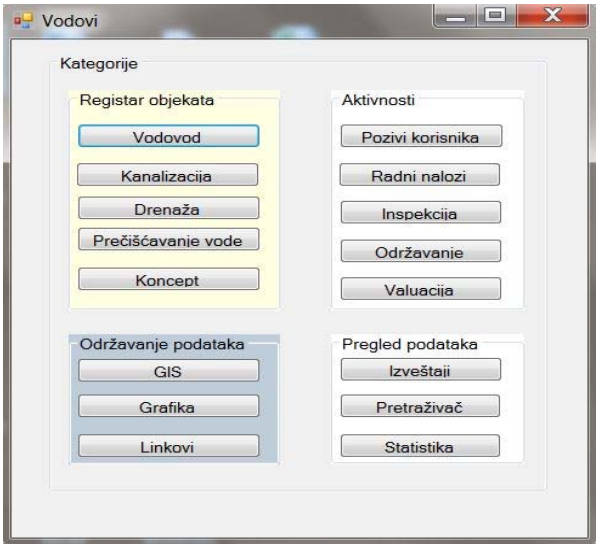
Табела 1: Алати коришћени за израду апликација

	Софтвер	Опис
1	SQL Server 2014	систем за управљање базама података - DBMS
2	MapInfo Professional 11 (P.B.)	ГИС софтвер
3	Microsoft Visual Studio (C#)	развојно софтверско окружење
4	MapBasic 11 (P. B.):	програмски језик за развој додатних

		алата и функционалности за MapInfo
5	Crystal Reports:	софтвер за дизајнирање извештаја
6	Microsoft SQL Server Reporting Services - Report Builder 3.0	софтвер за дизајнирање извештаја:- интегрисано окружење са SQL Server -ом
7	Microsoft Excel 2010	Интеракција са SQL Server -ом - креирање извештаја

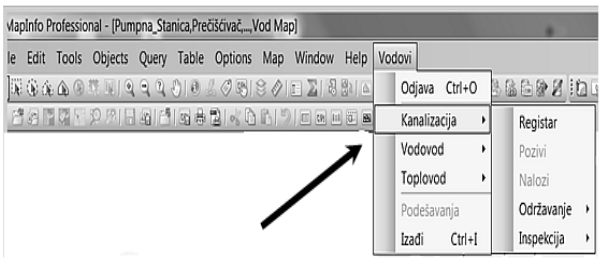
Подаци су складиштени у геопросторној бази SQL Server 2014 ([4], у складу са ISO стандардима датим у [2] и [3]. Може им се приступити *desktop* или *web* ГИС алатима. У овоме проимеру коришћена је десктоп верзија MapInfo (PB).

2. главна форма апликације садржи опције подељене у категорије послова (тачка 2), сл. 4.



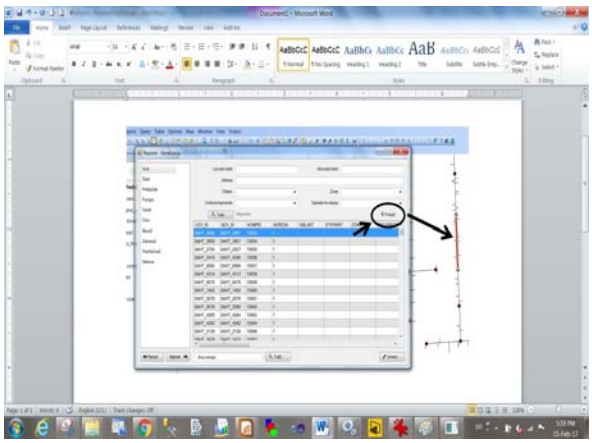
Слика 4: Почетна форма апликације

3.Опцијом ГИС из категорије Одржавање података отвара се ГИС софтвер MapInfo, сл. 5.



Слика 5: Додате опције у MapInfo

Опција менија **Водови/Kanalizacija/Registar** (урађена у MapBasic -у) отвара C# апликацију и коришћењем ГИС машине одвија се интеракција софтвера који прате пословне процесе из овога домена, сл. 6.

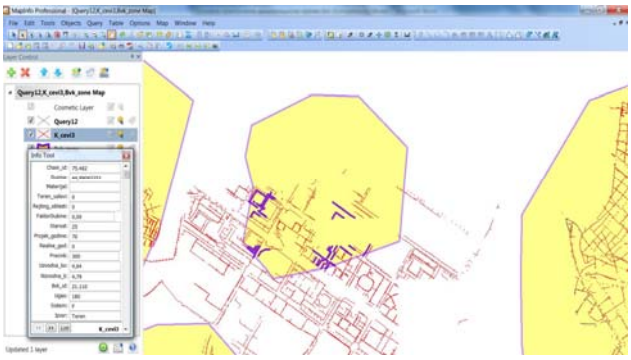


Слика 6: Веза атрибутних и просторних података

4. Једна од опција која се у раду често користи јесте и претраживање података, тј. постављање упита кроз апликацијске форме.

На сл. 7а сл.7б приказан је резултат просторног упита у ГИС софтверу: тражи се укупан број канализационих цеви, са следећим ограничењима при претраживању:

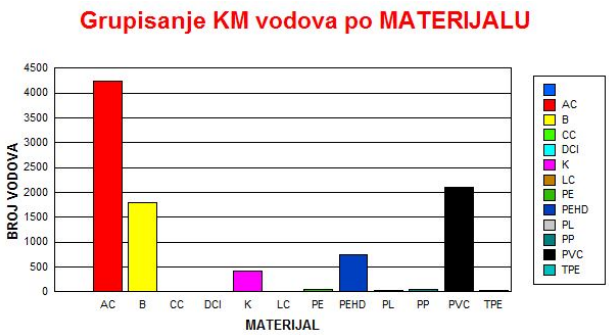
- само мрежне цеви у термалној зони број 3
- материјал непознат, тј. нема података
- старије од 20 година



Слика 7а: Резултат просторног упита добијен пресеком два лејера: **цеви** и **геотермалне зоне**

Слика 7б: Резултат просторног упита добијен пресеком два лејера: **цеви** и **геотермалне зоне**

5. Резултат упита и генерисање извештаја дат је сл. 8а и сл. 8б.



Слика 8а: Резултат упита урађен кроз апликацијску форму

Слика 8б: Резултат упита урађен кроз апликацијску форму а затим стилизован у Excel -u

4. ЗАКЉУЧАК

У већини савремених економија, законском регулативом су усмеравани поступци за доношење краткорочних и дугорочних МИО планова, који су обавезујући за све организације који пружају услуге и сервисе из домена инфраструктурних објеката. Уз ово, обавеза ових организација је и да користе савремене геоинформационе системе код укупног процеса менаџмента инфраструктурних објеката који обухвата стратешко, тактичко и оперативно планирање.

ЗАХВАЛНОСТ

Рад је део пројекта ТР 36017, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

[1] International Infrastructure Management Manual, 2011/2006 V.3 Edition, ISBN No: 0-473-10685-X.
[2] ISO 19125-1:2004: Geographic information -- Simple feature access -- Part 1: Common architecture.
[3] ISO 19125-2:2004: Geographic information -- Simple feature access -- Part 2: SQL option.
[4] Varga, S., Cherry, D., D'Antoni J: Introducing SQL Server 2016, Microsoft Press, 2016.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MODELS FOR ESTIMATING CONSTRUCTION COSTS FOR RESIDENTIAL BUSINESS BUILDINGS

IGOR PEŠKO[1], GORAN MARKOVIĆ[2], VLADIMIR MUČENSKI[3], ALEKSANDRA VUJKOV[4], DRAGANA BIBIĆ5

[1] University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, igorbp@uns.ac.rs
[2] Doo Tankmont, Beograd, gmarkovic@tankmont.com
[3] University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, mucenskiv@uns.ac.rs
[4] University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, vujkova@uns.ac.rs
[5] University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, draganabibic@uns.ac.rs

Abstract: *The decision of the investor (contractor) to examine the possibility of realization of the project is the need to construct a certain object and estimate that by constructing (exploitation) the object would achieve the corresponding profit. Therefore, it is important for an investor (contractor) to perform an initial estimation of the investment itself, which is generally rough and aimed at assisting in the decision-making process, as well as the ability to make a detailed estimation in order to monitor the costs of the project. This paper presents the application of a model for estimating the cost of residential business buildings. A detailed description of the application is described, and the basic characteristics of the model of cost-significant items and the regression model are given. A defined model was created to estimate the value of rough construction works. Within the regression model, a model for the preliminary estimate of the cost of building construction and a model for the preliminary estimate of the value of rough construction works are defined.*

Keywords: *Building Technology and Management, costs, cost models, cost estimation.*

1. INTRODUCTION

The cost estimation in the general meaning is defined as an estimate of all project costs, i.e. an attempt to define all the costs of the project and present their values. (Richard 1997, Project Management Institue 2013)

Cost estimation in construction is defined as a process in which parties interested in building an investment building attempt to determine the number of resources in order to achieve a project goal or make a decision significant for the realization of the project. (Ferry, Brandon 1991)

Since the costs of realization of one project involve a wide range of different costs, cost estimates can also be viewed from a different perspective of the estimator, both the investor and the contractor, and can be targeted at different stages of project realization.

2. TECHNOLOGY OF THE estimate OF COSTS

Investor's decision to examine the possibilities of realization of the building project is a basic need to build a certain object as well as whether the building will achieve the expected profit by its construction or exploitation. In view of this, it is necessary to carry out an initial assessment of the investment which is generally rough and aims to assist the investor in deciding whether to initiate further activities in the realization of the project.

When the investor makes the final decision about the construction of the building, he contacts the potential contractors. The contractor, on the other hand, examines the investors' requirements and compares them with their capabilities.

2.1. The selection and application of cost models

In theory, various cost modeling variants can be found. None of the known cost models is perfect, but it is about the expected precision of the model, the restrictions in the application and the impossibility that the standard procedure for applying the model covers all costs impacts. So most models in practice function as an accessory in the decision-making process, where the human factor makes the final decision. (Ashworth 1989, Pesko 2013)

In theory and practice, the most commonly used models are:

- rough estimate based on the capacity or size of the object,
- estimation by elements - functional groups of works,
- **model of cost-significant items,**
- **parametric (regression) model,**
- model based on Bill of Quantities,
- model based on activity and resource consumption,
- probabilistic simulations and risk analysis and
- expert systems for cost estimation.

2.2. A model of cost - significant items

Theory of cost-significant items is based on the assumption that a small number of items from Bill of Quantities defines a very large part of the total costs. The idea originated at the end of the 19th century when Vilfredo Pareto, an Italian economist, noticed that in several European countries 20% of the population makes 80% of the state income. (Munther 1986)

By applying the cost-significant items model, precision estimate of ±10% is achieved, the work is significantly reduced during a preliminary cost estimate, and a later global cost control process is simplified because it is reduced to selected items only. Results emphasis that cost-significant items are time-significant too, which means they can also be used for planning and controlling the time during project realization. (Ivkovic, Popovic 2005)

In addition to the fact that the model is dominantly used from the point of view of the contractor, it can be a good basis for a preliminary cost estimate from the point of view of the investor.

The disadvantages of the model are related to the scope of application. Because of that, the application should be limited to the type of buildings and works that the contractor routinely offers. Unique objects and objects that differ in size and shape from the previously performed, should take into account many factors engineering application model bit complicated.

2.3. Parametric (regression) model

Regression analysis is a method used to test the dependence between two or more variables. A large number of mathematical functions can be used for a regression model such es: linear, degree function, exponential or logarithmic. The best function is one that has a minimum total deviation from the analyzed historical data. The most common form of dependence between the variables is the linear form of dependence. (Hadzivukovic et al. 1982)

When creating a regression model there is a possibility of defining „n“ independent or „n“ dependent variable. In this respect, a one-parameter and multi-parametric cost model is distinguished. With each cost estimate using the regression model, consideration should be given to whether the assessment is viewed from the point of view of an investor or contractor and in and at what point in time is the estimation. Also, objects of similar constructions should be considered, because it is impossible to include all factors that affect the costs, and the choice of a large number of parameters is not the primary goal. Using the model, an accuracy of ±15-25% can be achieved, but the application should be limited to very early stages in the realization of smaller projects. (Ivkovic, Popovic 2005)

Model is not a widely accepted in practice for use in complex building structures. The reasons for this are, first of all, the small universality of the model, relatively complicated mathematical application and the inability to perceive all the influences they are exposed to the realization of a major project.

Given the above facts, it is recommended to apply the model for a preliminary cost estimate in order to select the contractor (from the aspect of the investor) or to make a decision on the realization of the project (from the perspective of the contractor).

3. APPLICATION OF THE MODEL AND ANALYSIS OF RESULTS

The database processed in this paper consists of 13 projects of residential-business buildings. All objects are characterized by skeletal system construction. The function of these buildings is the commercialization of the space that consists of apartments, shops and offices (residential-business units) located in the above-ground part of the building and the garage or parking spaces that are located in the underground part of the building.

3.1. Selection of research model

The basic goal of selecting a model of cost-significant items is to define what are the cost-relevant items which will determine 80% of the total construction costs of the building by determining 20% of the items in the process of cost estimation.

The main goal of selecting the regression model is to use the regression equation in the cost estimation process to define what independent variables are the basis for a preliminary estimate of the total cost of construction which is made for the characteristic object.

3.2. A model of cost-significant items

In order to achieve a uniformity of the database of Bill of Quantities for all projects, the first step analyzes the structure of the works:

- rough construction works,
- construction and craft works,
- the value of rough construction works and construction and craft works and
- percentage share of the value of rough construction works and construction and craft works in the total value of construction.

Summing up the percentage share of the value of rough construction works and construction and craft works, their percentage share in the total value of construction is defined.

The research has shown that the value of realization of rough construction works makes an average of 60.4% and construction and craft works makes 39.6% in the total value of construction. So in the next step, rough construction works are defined as a whole and for them, the model of cost-significant items is defined.

The structure of the rough construction works has been analyzed and are defined:

- total value of items,
- total number of items (n),
- the average value of the items, which represents the ratio of the total value of the items and the total number of items, expressed in euros (€)
- number of cost-significant items and
- the percentage of participation of cost-significant items in the total value of the realization of rough construction works.

In order to determine the final number of cost-significant items, 22 items were selected, which appear as cost-relevant items, and it is defined in how many projects they are present.

In this step, the research has shown that the value of 20% of the most costly-significant items is from 65% to 88% of the total value of rough construction works.

Analyzing the stated items from the aspect of frequency of occurrences in the projects, as cost-significant items, in the first case of 22 items, eleven are cost-significant:

- building facade walls in the cement-lime mortar,
- building internal supporting walls in the cement-lime mortar,
- building partition walls in the cement-lime mortar,
- machine plastering of all interior wall surfaces with the lime plaster,
- machine plastering of all interior ceilings with the lime plaster,
- making a cement screed as a substrate for floor coverings of the interior,
- making reinforced concrete foundation construction,
- making reinforced concrete floor ceilings,
- purchasing, transporting, pulling, straightening, scaling, marking, cutting, bending, assembly, bonding and installation of all reinforcement,
- making formwork for all concrete and reinforced concrete elements and
- making a wooden roof structure.

The percentage share of the cost-significant items in the total value of the rough construction works ranges from 63% to 84% and the average value of participation is 76.16%.

In the next step of research the cost-significant items, they are viewed from the aspect of unifying the basic elements of the construction.

The previous list of 11 cost-significant items examines the basic elements of the construction such as the foundation construction and the floor ceilings. In order to consolidate the remaining elements as cost-significant items, two more items are defined:

- making a reinforced concrete pillars,
- making a reinforced concrete beams.

This way, the percentage share of the cost-significant items in the total value of the rough construction works ranges from 70% to 86% and the average value of participation is 79%.

In order to define the cost-significant items, the results of the analyzed cases are compared. Research has shown that the second version with 13 cost-significant items gives a greater accuracy of estimating (±9%). Also, in the second version, all the basic elements of the construction are covered. Cost significant value factor is 0.79.

3.3. Parametric (regression) model

Two regression models are analyzed in this paper. Regression model number 1 allows estimation the construction cost at the moment of initiating the project by the investor and regression model number 2 enables the estimation of the value of rough construction works by the contractor.

3.4. Parametric (regression) model no1 - estimation the construction cost at the moment of initiating the project by the investor

The selection of the parameters of the regression equation is limited by the characteristics of the constructive system. At that moment the investor, based on the construction conditions and his wishes for the appearance of the building, can have approximate information about the location and size of the building itself.

Independently variable parameters are defined as: X1 – the number of building floors, X2 – the number of residential business units, X3 – the net surface of residential business units, X4 – plot area, X5 - occupancy of the plot and X6 – floor area ratio.

The number of building floors represents the number of floors above the ground that consist of ground floor, floors and attic with different upper and lower floors. The number of residential business units represents the number of rooms (flats, premises, offices) located in the above ground part of the building. The net surface of residential business units implies the total floor area of the residential business units. Plot area represents the area of the cadastral parcel on which the building is being built. Occupancy of the plot is the ratio of the surface area of the above ground part of the building (basement or ground floor) and the plot area expressed in percent. Floor area ratio represents the ratio of the gross surface of the above ground floor and plot area.

In order to achieve the appropriate results using the regression model in the survey, the program package Statistica was used. The study was carried out by combining six independently variable parameters Xi in 5 different cases.

At the end of this part of the study, an analysis of the obtained results of the accuracy of the assessment from all five cases was carried out with the aim of making the final conclusion. The first case of research was proved as authoritative. In this case of research, 3 independently variable parameters are defined: X1 – the number of building floors, X2 - the number of residential business units, X3 – the net surface of residential business units.

Using the Statistica software package, the parameters of the regression equation are determined:

$$y = 1.107.379,61 - 216.227,67 * x_1 - 2.994,92 * x_2 + 420,04 * x_3 \quad (1)$$

In order to verify the accuracy of the results of the procedure itself, this defined regression equation was applied to two projects from the sample that was left for verification and this way the accuracy of the estimation was reached ±12-18%.

3.5. Parametric (regression) model no2 – estimation of the value of rough construction works by the contractor

The selection of the parameters of the regression equation was focused on the cost-significant items defined in the previous text which is about the creation of the model. So, as independently variable parameters, marked with Xi are defined: X1 – brickwork (m^2), X2 – plastering (m^2), X3 – reinforcement (kg), X4 - reinforced concrete foundation construction (m^3), X5 - reinforced concrete floor ceilings (m^3).

It should be noted that when defining the parameters from the Bill of Quantities, the quantities of the listed works expressed in the given unit are taken into account.

Brickwork implies masonry of all inner walls of thickness d=25cm or d=20cm, all partition walls of thickness d=12cm or d=10cm and all facade walls of the skeletal structure which can be thickness of d=25cm or d=20cm, regardless of whether they are made of brick, gitter blocks or some other type of blocks (expressed in square meters). Plastering involves machine or manual plastering of all interior wall surfaces and all interior ceilings expressed in m^2 overlapped surfaces. Reinforcement implies quantity of GA 240/360 smooth reinforcement, RA 400/500 rebar and MA 500/560 reinforcement mesh expressed in kg. The reinforced-concrete substructure implies the construction of reinforced-concrete foundation slabs and beams of the building of the corresponding concrete class expressed in m^3 of embedded concrete. The reinforced-concrete floor structure implies the construction of reinforced concrete floor structures of the appropriate concrete class expressed in m^3 of embedded concrete.

The research was carried out by combining five independently variable parameters Xi in 9 different cases.

At the end of this part of the study, the analysis of the obtained results of the accuracy of the estimation from all nine cases was carried out with the aim of making the final conclusion.

As a proper case is the case in which 4 independently variable parameters are defined X1 - masonry, X2 - plastering, X3 - reinforcement and X5 - reinforced concrete floor structure.

Using the Statistica software package, the parameters of the regression equation are determined:

$$y = 100.957{,}30 + 145{,}46 * x_1 - 7{,}17 * x_2 - 0{,}43 * x_3 - 189{,}95 * x_4 \qquad (2)$$

In order to check the accuracy of the results of the procedure itself, the regression equation defined this way was applied to two projects from the sample that were left for verification and this way the accuracy of the estimation was reached ±17-28%.

4. CONCLUSION

A model of cost-significant items - It is proposed to apply the model for the needs of assessing the value of rough construction works by the contractor in order to decide on the realization of the project, easier control over the total construction costs of the building during the project realization and the planning and control of the duration of the project during the realization of the project. As part of the estimation of the total construction costs, the application of the model by the investor is proposed as a basis for the preliminary estimation of the total value of rough construction works in order to select the contractor.

Parametric (regression) model – It is proposed to use the model for the needs of estimating the costs of construction in order to make a decision on the realization of the project by the contractor. It is proposed to use the model for the needs of estimating the value of rough construction works in order to decide on the choice of contractors by investors.

Acknowledgement

The work reported in this paper is a part of the investigation within the research project TR 36017 "Utilization of by-products and recycled waste materials in concrete composites in the scope of sustainable construction development in Serbia: investigation and environmental assessment of possible applications", supported by the Ministry for Science and Technology, Republic of Serbia. This support is gratefully acknowledged.

REFERENCES

[1] Ashworth A.: “Cost Studies of Buildings”, Unidet Kingdom, 1989

[2] Ferry D. J., Bradndon P.S.: “Cost Planning of Buildings”, BSP Professional Books, 1991

[3] Hadživuković S., Zegnal R., Čobanović K.: “Regresiona analiza”, Beograd, 1982

[4] Ivković B., Popović Ž.: “Upravljanje projektima u građevinarstvu“, Beograd, 2005

[5] Munther Musa Saket: “Cost-significant Applied to Estimating and Control of Construction Projects“, University of Dundee, 1986

[6] Peško Igor: “Model za procenu troškova i vremena izgradnje gradskih saobraćajnica“, Novi Sad, 2013

[7] Project Management Institute: “A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)“. Newtown Square: Project Management Institute, 2013

[8] Richard E. Westney, P.E.: “The Engineer’s Cost Handbook“, Tools for Managing Project Costs, New York, 1997

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OPTIMIZACIJA MREŽNOG DIJAGRAMA PROJEKTA PRIMJENOM BUFFER-A

OPTIMIZATION OF PROJECT NETWORK DIAGRAM USING BUFFERS

NATAŠA POPOVIĆ-MILETIĆ[1], SNEŽANA MITROVIĆ[2], DRAGAN NIKOLIĆ[3]

[1]Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet u Banjoj Luci, natasa.popovic-miletic@aggf.unibl.org
[2]Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, mitrozs@sezampro.rs
[3]Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, dotrun.bgd@gmail.com

---

Rezime: *U radu su razmatrani problemi koji se javljaju prilikom planiranja projekata metodom kritičnog puta CPM i njihovo rješavanje pomoću metode kritičnog lanca CCM. Konkretno, razmatran je problem planiranja izvođenja radova rekonstrukcije i asfaltiranja puta Podbrdo - Donji Graci, sa ciljem skraćivanja vremena trajanja projekta uzimajući u obzir raspoloživost resursa. Za planiranje izgradnje navedenog projekta upotrebljene su CPM i CCM metoda, pri čemu je optimizacija mrežnog dijagrama postignuta primjenom CCM metode i vremenskih međuspremnika, tzv. buffera. Rezultati su pokazali da je trajanje projekta po CCM metodi kraće 22,73 % u odnosu na trajanje po CPM metodi.*

Ključne reči: *CPM metoda, CCM metoda, mrežni dijagram, optimizacija, bufferi.*

Abstract: *In this paper we discuss about the problems that arise when projects are planed with critical path method CPM and how to overcome them using critical chain method CCM. Concretely, we analyze the problem of planning the execution of reconstruction the road Podbrdo - Donji Graci, with the aim to shorten the project duration, considering resources availability. For planning the execution of mentioned road we used CPM and CCM method and the network diagram optimization is achieved using CCM mehod and buffer management. The experimental results indicate that application of proposed CCM method leads to 22,73 % shorter durations of projects compared to CPM schedule.*

Keywords:*CPM method, CCM method, network diagram, optimization, buffers.*

1. UVOD

Planiranje, upravljanje i optimizacije planiranja su značajne u mnogim oblastima u građevinarstvu. Dobra procjena trajanja projekata je preduslov za uspješnu realizaciju projekta: u okvirima predviđenog vremena, obima i troškova. Upotrebom tradicionalnih metoda za planiranje projekata, često dolazi do prekoračenja planiranih troškova i roka završetka projekta. Najpoznatija metoda za planiranje projekta je metoda kritičnog puta (Critical Path Method - CPM), koja je nastala 1950-tih ali i dalje se nalazi u osnovi savremenih istraživanja.

Od 1997. godine u tehnici planiranja se koristi nova metoda pod nazivom metoda kritičnog lanca (Critical Chain Method – CCM), koja postaje popularna i konkurentna tradicionalnoj metodi kritičnog puta CPM. Metoda kritičnog lanca je razvijena primjenom teorije ograničenja na projekte (Theory of Constraints – TOC), a osmislio ju je Goldratt. Glavni cilj TOC i CCM metode je da se projekat završi na predviđeno vrijeme, tj. da ne dođe do prekoračenja planiranog roka završetka projekta. Prema TOC, glavno ograničenje u svakom projektu je vrijeme potrebno da se završe kritične aktivnosti. Zbog toga je naglasak stavljen na završetku aktivnosti koje se nalaze na kritičnom putu, bez gubljenja vremena i zabušavanja radnika koja su inače često prisutna.

Kritični lanac u projektu se definiše kao najduži niz aktivnosti od nekoliko različitih puteva, koji su povezani aktivnostima na kojima rade isti resursi. Određuje se slično kao kritični put, ali se u obzir uzimaju veze među aktivnostima i raspoloživost resursa. Tradicionalna CPM metoda ne razmatra ograničenje resursa tokom planiranja projekata, te tako čini napravljeni plan nerazumnim.

Trajanja aktivnosti izračunata po CPM metodi imaju veliku vjerovatnoću da će se završiti na vrijeme, koja iznosi od 80 % do 90%. Takva procjena trajanja aktivnosti sadrži također i rezervno vrijeme, čija je svrha osiguranje, odnosno zaštita od nepredviđenih okolnosti pri izvršenju. Metoda kritičnog lanca pretpostavlja da je dovoljno sigurno aktivnostima zadati trajanja koja imaju 50 % vjerovatnoće da će se

završiti na vrijeme. Sigurnost i zaštita od neizvjesnosti koja je oduzeta aktivnostima se sabira i ubacuje se na kraju svakog lanca, tj. puta u mrežnom dijagramu u vidu vremenskih međuspremnika, tzv. buffer-a.

U ovom radu je razmatran problem planiranja izvođenja radova rekonstrukcije i asfaltiranja puta Podbrdo - Donji Graci usljed ograničenosti angažovanja radne snage i bržeg završetka radova. Za planiranje izgradnje navedenog projekta upotrebljene su metoda kritičnog puta CPM i metoda kritičnog lanca CCM, pri čemu je optimizacija mrežnog plana postignuta primjenom metode kritičnog lanca CCM i vremenskih međuspremnika, tzv. buffer-a.

2. DEFINISANJE PROBLEMA, KOJI SE JAVLJAJU PRILIKOM PLANIRANJA PROJEKATA CPM METODOM

Planiranje i kontrola plana projekta su glavni zadaci za uspješno vođenje građevinskog projekta. Najpopularnija metoda za planiranje i kontrolu plana projekta je CPM metoda, koja može lako da idendifikuje kritični put, ukupno trajanje projekta i rana i kasna vremena (datum početka i završetka) svake aktivnosti u mrežnom dijagramu. Zbog toga je CPM prvi, možda i jedini izbor, za analizu mrežnog plana projekta. Međutim, pored svojih prednosti CPM ima neke nepredviđene nedostatke u praksi (Stelth i Le Roy, 2009). U nastavku su opisani problemi koji se javljaju prilikom planiranja projekata CPM metodom, a koji se mogu prevazići upotrebom CCM metode.

Goldratt (1997) smatra da su trajanja aktivnosti u CPM metodi predimenzionisana. Pod ovim se misli da prilikom proračuna trajanja aktivnosti, na procijenjeno vrijeme za završetak aktivnosti se dodaju rezerve kao dodatno bezbjedonosno vrijeme. U građevinarstvu se trajanja aktivnosti procjenjuju i računaju pomoću normativa i standarda rada u građevinarstvu ili na osnovu iskustva inženjera. Ovako izračunata trajanja sadrže previše bezbjednosnog vremena , tj. vremenskih rezervi i aktivnosti imaju veliku vjerovatnoću da će se završiti na vrijeme (Jaafari 1983). Ovim se aktivnosti i cijeli projekat štite od raznih nepredvidivih faktora: negativnih efekata multitasking-a, ometanja, prekida, Murphyevog zakona, itd. Navedeni način proračuna trajanja aktivnosti nije pogrešan ali je potrebno da se razumiju posljedice predimenzionisanja trajanja aktivnosti na stvarni učinak radnika, tj. učesnika u projektu. Naime, radnici su svjesni da su u proračunatom trajanju aktivnosti ugrađenje i vremenske rezerve i u startu ih planiraju iskoristiti, čime mogu prouzrokovati da se aktivnosti ne završe na planirano vrijeme a samim tim i cijeli projekat.

Štetna ponašanja učesnika projekta, tj. radnika, koja mogu prouzrokovati zakašnjenje projekta mogu biti opisana na dva načina:

- "Studentski sindrom" – podrazumijeva izvršavanje obaveza u zadnjem trenutku, čak i kada je vremensko trajanje aktivnosti dovoljno (Goldratt 1997),
- "Parkinsonov zakon" – podrazumijeva da će ljudi prilagoditi svoj napor kako bi iskoristili sve planirano vrijeme trajanja aktivnosti. Ukupan rad se rijetko završava prije planiranog roka (Goldratt 1997).

Metoda CPM praktikuje istovremeni rad resursa na više aktivnosti (multitasking), tj. da se isti resurs dodjeljuje različitim aktivnostima u isto vrijeme. Pod resursima se misli na radnike i mašine. Metoda CPM u obzir ne uzima raspoloživost resursa već pretpostavlja da su resursi uvijek dostupni u mjeri koja je potrebna za izvršenje svake potrebne aktivnosti i time čini napravljeni plan nerazumnim. Multitasking može dovesti do toga da se da se projekat ne završi u planiranom roku (Leach 2000, Kerzner 2003, Yang 2003).

Iako su navedeni problemi učestali u građevinskim projektima, metoda CPM ih ne može uspješno rješiti, ali se mogu prevazići pomoću metode kritičnog lanca CCM.

3. MATERIJAL I METOD RADA

3.1. Osnovne karakteristike metode kritičnog lanca

Metoda kritičnog lanca (Critical Chain Method – CCM) je relativno nova metoda za planiranje i upravljanje projektima, koja može drastično da smanji vrijeme realizacije projekta. Osmislio ju je Goldratt, koji je prvi put predstavio 1997. godine u noveli “Critical Chain“ u kojoj kritikuje statično determinističko planiranje.

CCM se bazira se na teoriji ograničenja (Theory of Constraints – TOC). Osnovna zamisao autora metode je da se identifikuje kritični lanac aktivnosti, na sličan način kao i kritični put, ali se u obzir uzimaju logični odnosi, tj. veze između aktivnosti i ograničenja resursa (Yang 2003). Plan projekta se štiti od poremećaja pomoću različitih vrsta vremenskih međuspremnika, tzv. buffer-a postavljenih na strateška mjesta (Leach 2000, Kerzner 2003). Ova metoda predstavlja jedan sasvim novi način razmišljanja, gde se akcenat stavlja na agresivno skraćenje trajanja aktivnosti, upravljanje vremenskim buffer-ima umjesto vremenskim rezervama aktivnosti i naglasak na resurse da završe aktivnosti na vrijeme.

3.2. Varijabilnost i trajanje aktivnosti kod CCM metode

Osnovno pitanje kod vremenskog proračuna plana je kojom vrijednosti procijeniti trajanje aktivnosti. Kao što je već rečeno trajanja aktivnosti izračunata po CPM metodi su predimenzionisana i imaju veliku vjerovatnoću da će se završiti na vrijeme, koja iznosi od 80 % do 90%. Takva procjena trajanja aktivnosti sadrži također i rezervno vrijeme, čija je svrha osiguranje, odnosno zaštita od nepredviđenih okolnosti pri izvršenju.

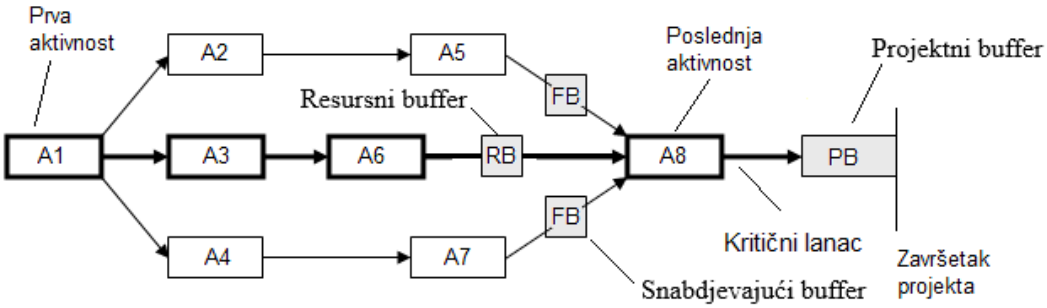
Metoda kritičnog lanca pretpostavlja da se trajanje aktivnosti ponaša po zakonu pozitivno asimetrične distribucije, nastale asimetrijom normalne distribucije i da je dovoljno sigurno aktivnostima zadati trajanja koja imaju 50 % vjerovatnoće da će se završiti na vrijeme. Shodno tome, trajanje aktivnosti po CCM metodi iznosi 50 % trajanja izračunatog po CPM metodi (Kerzner 2003; Vanhoucke 2012). Ovakav agresivan način proračuna trajanja aktivnosti je moguć ako će tokom realizacije projekta svi resursi biti dostupni na vrijeme.

3.3. Zaštita projekta pomoću buffer-a

Metoda kritičnog lanca koristi drugačiji način zaštite od neizvjesnosti. Cilj CCM metode je da se zaštiti projekat od zakašnjenja, a ne aktivnosti pojedinačno. U CCM metodi aktivnosti nemaju vremenske rezerve, a sigurnost i zaštita od neizvjesnosti koja je oduzeta aktivnostima se sabira i ubacuje se na kraju svakog lanca, tj. puta u mrežnom dijagramu u vidu vremenskih međuspremnika, tzv. buffer-a (Lechler *et al*. 2005).

Bufferi se postavljaju na ključna mjesta u plan projekta kao amortizeri, te predstavljaju akumuliranu zaštitu od statičkih varijabilnosti u trajanjima aktivnosti u planu. Na slici 1 su prikazana tri tipa buffera koje je moguće primijeniti (Leach 2000, Kerzner 2003):

- Projektni buffer (Project Buffer - PB)
- Snabdjevajući ili nekritični buffer (Feeding Buffer - FB)
- Resursni buffer (Resource Buffer - RB)



Slika 1: Prikaz bafera u CCM mrežnom dijagramu

Projektni buffer (Project Buffer - PB) se postavlja na kraju kritičnog lanca i štiti planirani rok završetka projekta od zakašnjenja koje bi nastalo zbog prekoračenja trajanja aktivnosti u kritičnom lancu, odnosno predstavlja dodatno vrijeme na kraju kritičnog lanca cijelog projekta. Vrijeme potrebno za realizaciju projekta jednako je trajanja kritičnog lanca i trajanja projektnog buffera (Kerzner 2003).

Snabdjevajući ili nekritični buffer (Feeding Buffer - FB) se postavlja na svako mjesto gdje se nekritični lanac spaja s kritičnim, kako aktivnosti nekritičnog lanca ne bi ugrozile kritični lanac, tj. ovaj buffer snabdjeva kritični lanac sigurnošću od kašnjena. Može se definisati i kao dodatno vrijeme koje se nadovezuje na aktivnosti koje nisu u kritičnom lancu. Svrha ovog buffera je da zaštiti kritični lanac, a samim tim i projekat od neizvjesnosti i da omogući kritičnim aktivnostima da počnu ranije ako je to moguće (Cohen, Mandelbaum i Shtub 2004).

Resursni buffer (Resource Buffer - RB*)* se uvodi kako bi se ublažili uzorci neizvjesnosti samog početka izvođenja aktivnosti uzrokovani kašnjenjem rada resursa. Razlikuje se od drugih buffera jer nema direktan uticaj na raspored i trajanje projekta, odnosno nema vremensku komponentu, nego je informativnog karaktera. Npr. postavljanjem resursnog buffera na kraj posljednje aktivnosti u nizu na kojoj radi pojedini resurs, stvara se sistem informisanja o stvarnim potrebama angažovanja pojedinih resursa na kritičnom lancu, te se naglašava važnost posla koji se obavlja na aktivnostima kritičnog lanca.

3.4. Eliminisanje štetnog ponašanja učesnika projekta, tj. radnika

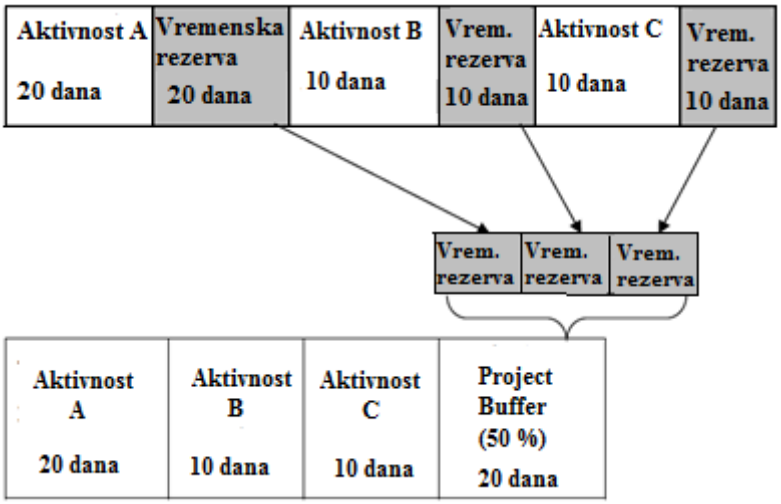
Da bi se izbjegla navedena negativna ponašanja radnika, Goldrat (1997) predlaže da radnici rade na realizaciji aktivnosti po principu "štafetne trke" (Relay Race) i da se često obnavljaju informacije o napredku aktivnosti koje su u toku. Rad po principu "štafetne trke" podrazumjeva da se radnici trude da u što kraćem vremenu završe rad na aktivnosti, koja se trenutno radi po rasporedu, da bi otpočeli rad na sledećoj aktivnosti. Da bi radnici počeli sa radom na kritičnoj aktivnosti, ne moraju da čekaju njen planirani datum početka radova jer po CCM metodi svaka naredna kritična aktivnost može početi čim se sve njene prethodne aktivnosti završe. To znači, može se desiti da aktivnost otpočne prije planiranog datuma početka. Vrijeme, koje je se uštedjelo na prijevremeno završenoj aktivnosti može se iskoristiti da se apsorbuje kašnjenje neke naredne aktivnosti. (Kerzner 2003).

3.5. Dimenzionisanje buffer-a

Najpoznatije metode za dimenzionisanje buffera su:

- "izreži i zalijepi" (Cut and Paste Method - C&PM) i
- metoda greške kvadratnog korjena (Root Square Error Method - RSEM).

Metodu C&PM je osmislio Goldratt (1997), čija je ideja bila da dužina buffera bude jednaka polovini sume oduzetog vremena trajanja aktivnosti koje čine posmatrani lanac u mrežnom dijagramu. Na osnovu toga, snabdjevajući buffer će biti jednak polovini sume oduzetog vremena trajanja aktivnosti koje čine posmatrani nekritični lanac u mrežnom dijagramu, dok će projektni buffer biti jednak polovini sume oduzetog vremena trajanja aktivnosti koje čine posmatrani kritični lanac u mrežnom dijagramu, što se vidi na slici 2. Robinson i Richards (2010) su uradili numerički primjer kojim su demonstrirali da primjenom C&PM metode za dimenzionisanje buffera se skraćuje trajanje projekta za 25 % u odnosu na planiranje projekta metodom kritičnog puta sa nivelisanjem resursa.



Slika 2: Metoda "izreži i zalijepi" C&PM

Metoda greške kvadratnog korjena (Root Square Error Method - RSEM) je nastala poslije C&PM metode i ona koristi dvije procjene vremena za svaku aktivnost:

- Si - sigurno trajanje aktivnosti, koje ima vjerovatnoću od 90 % da će se aktivnost završiti u tom planiranom vremenu i
- Ai – agresivno skraćeno trajanje aktivnosti, koje ima vjerovatnoću od 50 % da će se aktivnost završiti u tom planiranom vremenu.

Razlika između ove dvije procjene vremena trajanja se smatra kao vremenska sigurnost aktivnosti. Po Newbold-u (1998) se onda bufferi dimenzionišu po sledećoj formuli:

$$Buffer = \sqrt{\left(\frac{S_1-A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2-A_2}{2}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{S_n-A_n}{2}\right)^2} \quad (1)$$

Metoda RSEM daje realnije vrijednosti buffera za razliku od C&PM metode, kojom se mogu dobiti ekstremno veliki ili premali bufferi (Tukel et al. 2006). U literaturi možemo RSEM metodu često naći i pod drugim nazivom, koji glasi metoda kvadratnog korjena zbira kvadrata (Square Root of The Sum of The Squares- SSQ).

3.6. Optimizacija mrežnog dijagrama projekta primjenom buffer-a

Za izradu plana prema metodi kritičnog lanca potrebni su sledeći ulazni podaci: definisane aktivnosti, "sigurno" i "agresivno" trajanje svake pojedine aktivnosti, veze među aktivnostima, te resursi koji su potrebni za izvršenje aktivnosti. Postupak izrade plana CCM metodom se sastoji od sledećih koraka:

- Prvi korak podrazumijeva izradu plana prema tradicionalnoj CPM metodi, gdje sve aktivnosti imaju "sigurno" trajanje.
- Drugi korak podrazumjeva da se svim aktivnostima u već izrađenom planu "agresivno" skrati trajanje.
- Treći korak obuhvata rješavanje prekoračenja, tj. preopterećenja resursa, koja nastaju kada je potražnja za resursima veća od njihove dostupnosti zbog istovremenog rad resursa na više aktivnosti.
- Četvrti korak obuhvata identifikovanje kritičnog lanca u mrežnom dijagramu projekta. To je lanac (put) u mrežnom dijagramu sa najdužim trajanjem, koji se dobije nakon uzimanja u obzir logičnih zavisnosti između aktivnosti i raspoloživosti resursa. Ostali putevi (lanci) u mrežnom dijagramu su nekritični i zovu se lanci snadbjevanja (Feeding Chain).
- Peti korak obuhvata proračun buffer-a i njihovo postavljane u mrežni plan projekta.
- Šesti korak podrazumjeva provjeru već utvrđenog kritičnog lanca i određivanje ukupnog trajanja projekta.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

U radu su razmatrani problemi koji se javljaju prilikom planiranja projekata tradicionalnom CPM metodom. Jedan od problema je probijanje planiranog roka završetka projekta, što je česta pojava u građevinarstvu. Pored toga, razmatran je i problem koji nastaje u slučaju kada različite aktivnosti za svoje izvršenje zahtjevaju angažovanje istog resursa u istom vremenskom intervalu. Resursima se smatraju radna snaga i građevinska mehanizacija. Cilj rada je minimizacija vremena trajanja radova uz pretpostavku da su resursi neophodni za izvođenje radova dostupni u ograničenom broju.

Problemi su rješeni primjenom metode kritičnog lanca na primjeru planiranja realizacije projekta rekonstrukcije i asfaltiranja puta Podbrdo - Donji Graci (Milić 2009).

Planiranje izgradnje navedenog projekta prvo je urađeno CPM metodom, pri čemu je korišten programski paket MS Project 2003. Dobijeni rezultati pokazuju da projekat traje ukupno 66 radnih dana, pri čemu se radi 5 dana u sedmici (subota i nedelja su neradni dani). Planirani početak projekta je 01.juli, a završetak je 30.septembar. Preopterećeni su sledeći resursi: radnik II kategorije (RII), rukovaoc građevinskom mašinom V kategorije (MV), bulldozer (B) i utovarivač (U). Vremenski intervali u kojima je predviđeno izvršenje jedne ili više aktivnosti koje koriste isti tip ograničenog resursa prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Ograničenja angažovanja resursa

Redni broj aktivnosti	Vrijeme trajanja aktivnosti	Broj resursa	
		potreban	raspoloživ
6, 9	04. juli	15 RII	11 RII
22, 24, 26	06. do 10. septembar	17 RII	11 RII
16, 27, 28	26. i 27. avgust	9 MV	8 MV
7, 9	04. juli	2 B	1 B
7, 8, 9	04. i 05. juli	3 U	2 U

Problem ograničenog angažovanja resursa, tj. preopterećenje resursa CCM metoda rješava pomjeranjem početka neke od navedenih aktivnosti kasnije, nakon završetka aktivnosti koja koristi isti resurs. Ovim se mijenjaju uslovljenosti između aktivnosti, tj. njihovi međuodnosi u mrežnom dijagramu, pa se mrežni plan i gantogram po CCM metodi može dosta razlikovati od početnog CPM plana.

Za izradu plana navedenog projekta CCM metodom korišteni su softveri cc-Pulse (Spherical Angle, Inc., 2003) i CCPM+ (Advanced Projects, Inc., 2004). Nakon agresivnog skraćivanja trajanja aktivnosti i rješavanja problema ograničenog angažovanja resursa, određen je kritični lanac i zatim su postavljeni bufferi. Za dimenzionisanje buffera korištena je C&P metoda, po kojoj projektni buffer iznosi 17 dana. Dobijeni rezultati pokazuju da projekat traje ukupno 51 radnih dana, pri čemu se radi 5 dana u sedmici (subota i nedelja su neradni dani). Planirani početak projekta je 01.juli, a završetak je 11.septembar, što je kraće za 15 radnih dana ili za 22,73 % u odnosu na trajanje po CPM metodi.

Ukupni troškovi, potrebni za realizaciju projekta, su isti po CPM i CCM metodi, dok je priraštaj troškova po mjesecima različit zbog različite dužine trajanja projekta i drugačijeg rasporeda aktivnosti.

5. ZAKLJUČAK

U oblasti upravljanja projektima realan plan projekta se često definiše kao ključni faktor uspjeha. Tačnost u predviđanju datuma završetka projekta i put do postizanja toga, su od vitalne važnosti za svakog menadžera.

U radu je na primjeru planiranja realizacije projekta rekonstrukcije i asfaltiranja puta Podbrdo - Donji Graci dokazano da je metoda kritičnog lanca, koja se bazira na teoriji ograničenja, mnogo efikasnija za planiranje i kontrolu realizacije projekta nego tradicionalna CPM metoda. Rezultati su pokazali da se upotrebom CCM metode i vremenskih međuspremnika, tzv. buffer-a, može postići određeni nivo optimizacije mrežnog dijagrama projekta sa aspekta ograničenog angažovanja resursa i skraćivanja vremena trajanja projekta. Upotrebom CCM metode, projekti se mogu završavati mnogo brže i sa većom pouzdanošću, uz optimalno angažovanje resursa. U navedenom primjeru se pokazalo da je trajanje projekta po CCM metodi kraće za 15 radnih dana ili za 22,73 % u odnosu na trajanje po CPM metodi.

LITERATURA

[1] Yang, J.B. (2003). Applying the theory of constraints to construction scheduling. Proceedings of Second International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC 02), Rome, Italia, 1, 175-180.

[2] Jaafari, A. (1983). Criticism of CPM for project planning analysis. Journal of Construction Engineering and Management, 110, 2, 222-233.

[3] Goldratt, E. (1997). Critical Chain. (1st ed.). Great Barrington: The North River Press.

[4] Leach, L.P. (2000). Critical Chain Project Management. (2nd ed.). Norwood: Artech House.

[5] Kerzner, H. (2003). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. (8th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

[6] Milić, S. (2009). Projekat tehnologije, organizacije i dinamike građenja za rekonstrukciju i asfaltiranje puta Podbrdo - Donji Graci. Diplomski rad. Banjaluka: Arhitektonsko-građevinski fakultet.

[7] Stelth, P., & Le Roy. G. (2009). Projects' Analysis through CPM (Critical Path Method). School of Doctoral Studies (European Union) Journal, 1, 10-51.

[8] Vanhoucke, M. (2012). Aggressive activity time estimates: Protecting against activity delays. Preuzeto 16.03.2012., sa http://www.pmknowledgecenter.com/dynamic_scheduling/risk/aggressive-activity-time-estimates-protecting-against-activity-delays

[9] Lechler, T.G., Ronen,B. & Stohr, E.A. (2005). Critical Chain: A New Project Management Paradigm or Old Wine in New Bottles?. Engineering Management Journal, 17, 4, 45-58.

[10] Cohen, I., Mandelbaum, A.& Shtub, A. (2004). Multi-project scheduling and control: A process-based comparative study of the critical chain methodology and some alternatives. Project Management Journal, 35, 2, 39-50.

[11] Robinson, H. & Richards R. (2010). Critical chain project management: motivation and overview. IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana,USA, (3767-3777).

[12] Newbold, R. C.(1998). Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints. (1st ed.). Boca Raton: St. Lucie Press.

[13] Tukel, O. I., Rom, W. O. & Eksioglu, S.D. (2006). An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling. European Journal of Operational Research, 172(2), 401-416.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ВРЕДНОВАЊЕ КОНСУЛТАНТСКИХ УСЛУГА

СЛОБОДАН СТАНАРЕВИЋ[1], ЈЕЛЕНА ПРАЛИЦА[2]

[1] Градска управа Бања Лука, Трг српских владара 1, slobodan.stanarevic@banjaluka.rs.ba
[2] Висока грађевинско-геодетска школа у Београду, jelenapralica7@gmail.com

Резиме: *Приказана је могућа методологија за вредновање грађевинских консултантских услуга. Модел се заснива на свеобухватној анализи великог броја утицаја на грађевинску производњу, промјенљивих у простору и времену. У раду су приказани резултати спроведених лицитација током једне године. Примијењена је метода дескриптивне статистике и метода претраживања података. Омогућено је предвиђање, односно могућност доношења правовремених одлука.*

Keywords: *Грађевинарство, консултантске услуге, вредновање, предвиђање, претраживање података.*

Abstract: *The possibility of evaluation of consultancy services in the construction industry is presented. The model is based on a comprehensive analysis of a large numbers of impacts on the construction production, varying in space and time. The paper presents the results of the conducted bidding for one year. Descriptive statistics method, as well as data mining method is applied. The prediction, as well as the ability to make timely decisions is enabled.*

Keywords: *construction industry, consultancy services, evaluation, prediction, data mining.*

1. УВОД

Предузећа која се баве консултантским услугама непрекидно се сусрећу са проблемом континуираног одржавања нивоа услуга, као и проблемом вредновања конкуренције, односно вредновања успјешности фирми које се баве сродним пословима са друге стране. Основна тежња је да се предвиде резултати тих услуга у будућности.

Независно од унутрашње структуре консултантског предузећа битно је да се истражи оно што је за сваку консултантску фирму најзначајније, а то је како предвидјети да ли ће консултантска фирма добити посао на јавном надметању.

Неопходно је анализирати и вредновати параметре који утичу на успјешност у одређеном временском периоду, односно у току неколико година протеклог пословања, у конкретном предузећу које се бави консултантским услугама, са тежњом да се, на основу резултата добијених овом анализом, омогући предвиђање/предикција за неки наредни период.

Предмет истраживања је селекција, вредновање и рангирање параметара који утичу на добијање консултантских послова на јавним тендерима у посматраном периоду, прикупљање и обрада конкретних података, формирање адекватног модела и тумачење добијених резултата. У анализи пословања разматрани су параметри у цјелини или појединим сегментима предузећа (пројектовање, лабораторијска и теренска испитивања и вршење стручног надзора, и друго), како за конкретно консултантско предузеће, тако и за свако предузеће које је у наведеном периоду учествовало на лицитацији као конкуренција.

Циљ истраживања је предвиђање успјешности посматраног предузећа у предстојећем периоду пословања, као и његове позиције на тржишту и одабиру пословне стратегије у процесу доношења управљачких одлука, као и сазнање и закључивање који послови имају најбољу прогнозу.

За потребе формулисања модела који ће вредновати утицај конкуренције и предвиђање успјешности на тржишту у овом раду изабрано је једно репрезентативно консултантско предузеће у Босни и Херцеговини – Институт за грађевинарство „ИГ“ д.о.о. Бања Лука (у даљем тексту ИГ).

2. ПРЕДЛОЖЕНИ МОДЕЛ И ДОБИЈЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Истраживање се спроводи током неколико година. У моделу се анализирају сљедеће варијабле (атрибути):

- територијални ниво (БиХ, Република Српска, Федерација БиХ, Брчко дистрикт и Република Србија),
- институција (државна институција/предузеће, јавна установа/предузеће, општина, приватно правно лице и физичко лице),
- врста послова (стручни надзор, израда регулационог плана, израда студије, израда пројекта, израда плана управљања, израда елабората, просторно планирање, ревизија и нострификација техничке документације, израда акта о процјени, израда стратегије, испитивање, геодетско снимање, технички преглед, мјерења, мониторинг, пројектовање и други),
- ранг понуде (рангирање сваког појединачног понуђача).

Конкретно, у овом раду је проведена анализа на подацима прикупљеним у току једне године.

Атрибут финансијска вриједност понуде није директно разматран, односно овај атрибут је посредно разматран јер је за инвеститора приликом избора најбољег понуђача највећи значај имала цијена услуге. С обзиром на то, цијене услуга за сваки појединачни тендер су приказане и анализиране преко рангова, који су у већини случајева усклађени са успјехом, што потврђује да је за инвеститоре најбитнији критериј приликом одабира понуде цијена услуге.

2.1. Примјена дескриптивне статистике

У раду су приказани резултати спроведених лицитација (надметања) у којима је учествовао ИГ током 2014. године. Већ је раније спроведена процедура за 2015. годину (Станаревић, 2016). Кориштене су савремене статистичке методе (Ловрић и остали, 2017).

Резултати су анализирани и представљени табеларно коришћењем аналитичко-статистичког софтверског пакета SPSS (Statistical Product and Service Solutions), верзија 20, као и графички коришћењем дводимензионалних стубичастих и линијских дијаграма креираних у Microsoft Excel-у.

Током 2014. године ИГ је имао сазнање о 108 лицитације (надметања). ИГ је био успјешан у 49 (45,37%) случајева, док су сви остали учесници били успјешнији у 59 (54,63%) случају (Табела 1), односно ИГ је био мање успјешан у односу на остале учеснике (49 : 59 или 45,37% : 54,63%).

Табела 1: Резултат лицитација (надметања) током 2014. год.

Резултат	Успјех		Укупно
	ИГ	остали учесници	
Укупно (прихваћено)	49	59	108

ИГ је био успјешнији на нивоу Федерације БиХ (ФБиХ) у 14 од 26 случајева и у Брчко дистрику у пет од осам лицитација. Остали учесници су били успјешнији при реализацији лицитација на нивоу Републике Српске и реализовали су 24 од укупно 58 лицитација. И на нивоу БиХ остали учесници су били успјешнији и реализовали су 10, док је ИГ реализовао шест лицитација. (Табела 2).

Табела 2: Успјешност на територијаном нивоу током 2014. год.

Ниво		Успјех		Укупно
		ИГ	остали учесници	
	БиХ	6	10	16
	РС	24	34	58
	ФБиХ	14	12	26
	Брчко дистрикт	5	3	8
Укупно		49	59	108

Вредновањем понуда током 2014. године ИГ је у 49 (45.4%) случајева био прворангиран, у 23 (21.3%) другорангирам, у 22 (20.4%) трећерангиран, у осам (7.4%) четворорангиран, а при шест (5.6%) лицитација ИГ није учествовао. Прво- или другорангиран ИГ је био у двије од три лицитације, односно у 72 (66.7%) случаја (Табела 3).

Табела 3: Ранг понуда ИГ за реализоване лицитације (надметања) током 2014. год.

	Ранг					
	1.	2.	3.	4.	ИГ није учествовао	Укупно
N	49	23	22	8	6	108
%	45.4	21.3	20.4	7.4	5.6	100.0
Кумулативно	45.4	66.7	87.0	94.4	100.0	

Од 49 прворангираних понуда ИГ је реализовао 45, а остали учесници су реализовали четири понуде. Као другоранирану понуду ИГ је реализовао три, а остали учесници 20. ИГ је као трећерангиран реализовао једну, а није реализовао ниједан од радова који су били предмет надметања у којима је био четвороранираи (Табела 4).

Табела 4: Ранг понуда ИГ за реализоване лицитације (надметања) током 2014. год.

Учесник		ИГ - ранг					Укупно
		1.	2.	3.	4.	ИГ није учествовао	
	ИГ	45	3	1	0	0	49
	Остали	4	20	21	8	6	59
Укупно		49	23	22	8	6	108

Као што је претходно напоменуто, овде су приказани резултати проведених лицитација током 2014. године у којима је учествовао ИГ. Евидентно је да се оваква процедура може провести и за остале године у току неког посматраног периода, а како је то већ раније истражено за 2015. годину (Станаревић, 2016).

2.2. Примјена претраживања података

Data Mining (DM) представља методу претраживања података која је, развојем рачунарске технологије, ефикасна при претраживању великих количина сирових података (Peral et all., 2017). Data Mining је процес екстраховања претходно непознатих, ваљаних и дјелотворних информација из великих база података и коришћења тих информација за доношење кључних пословних одлука (Балабан и Ристић, 2006; Berry and Linoff, 2004).

Генерисана правила одлучивања и добијена адекватна стабла одлучивања указују на утицај и значај појединог, праћеног атрибута на успјешност посматраног консултантског предузећа на јвном позиву.

У раду су приказани тачност класификације без форсирања и са форсирањем улазних варијабли, стабла одлучивања и генерисана правила у терминалним чворовима примјеном аналитичко-статистичког алата SPSS верзија 20. При кориштењу стабала одлучивања прате се подаци за познате резултати лицитације (прихваћене понуде). Родитељски чвор је подешен минимално на 10, а чвор дијете на пет случајева. Улазне варијабле су: ИГ – ранг, ниво и радови, а излазна варијабла је успјех (ИГ и остали учесници), а тестирање је вршено само за познате резултате лицитација. На тај начин се (пр)оцјењује успјешност предметног предузећа у односу на конкуренцију, тачност предвиђања – без форсирања и са форсирањем појединих улазних варијабли уз графички приказ стабала. Правила су приказана само за терминалне чворове, а табеларно се приказује тачност предикције. За креирање скупова одлука кориштен је метод CHAID (Chi Square Automatic Interaction Detection).

Класификација без форсирања варијабли

У табели 6. и графикону 1 приказана је тачност класификације без форсирања варијабли и укупан постотак тачности класификације је 92.6%.

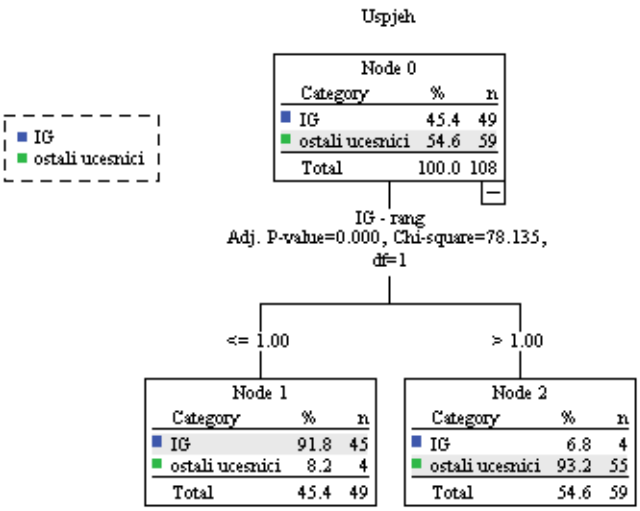
Табела 6. Тачност класификације без форсирања варијабли

	Предвиђено		
	ИГ	Остали учесници	Постотак тачности
ИГ	45	4	91.8%
Остали учесници	4	55	93.2%

Укупни постотак	45.4%	54.6%	92.6%

Growing Method: CHAID

Dependent Variable: Uspjeh



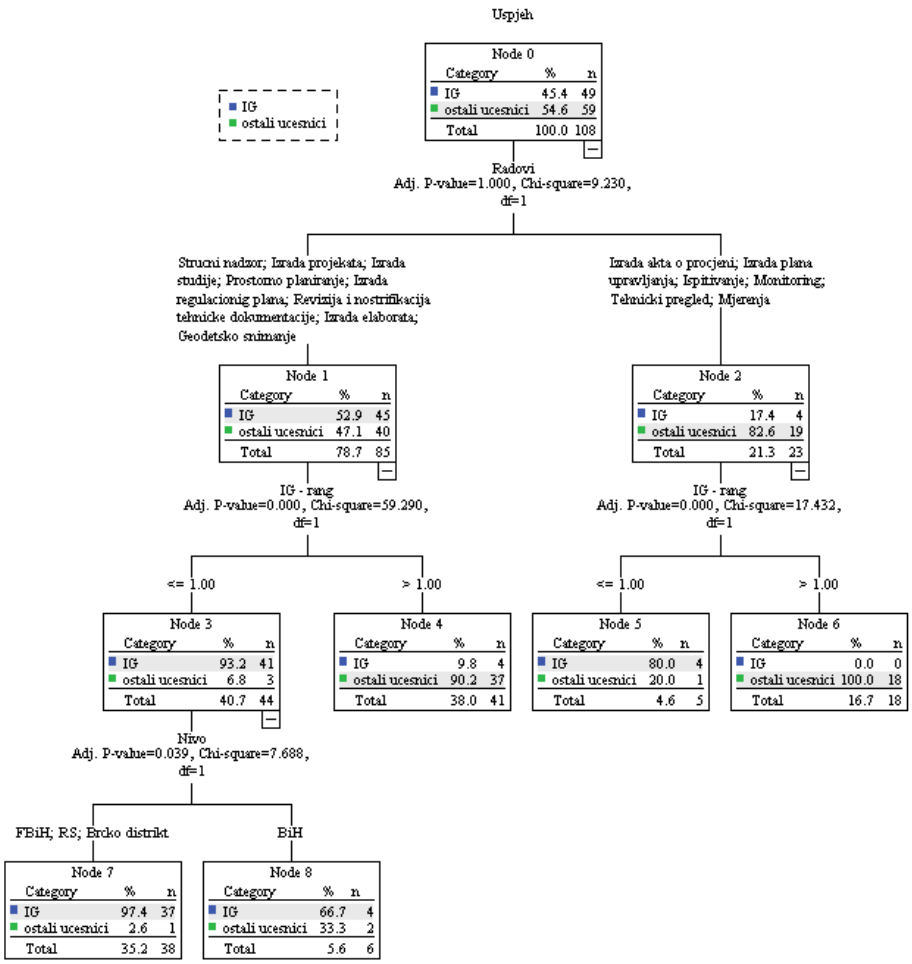
Графикон 1: Стабло одлучивања без форсирања варијабли

Генерисана правила за терминалне чворове:

```
/* Node 1 */.
IF (IG - rang NOT MISSING   AND  (IG - rang <= "1."))
THEN
Node = 1
Prediction = 1
Probability = 0.918367
/* Node 2 */.
IF (IG - rang IS MISSING  OR (IG - rang > "1."))
THEN
Node = 2
Prediction = 2
Probability = 0.932203
```

Класификација са форсирањем варијабли „ниво“ и „радови“

Тачност класификације при форсирању варијабли „ниво“ и „радови“ и укупан постотак тачности класификације је, такође, 92.6%. Графиконом 2 је приказано адекватно стабло одлучивања.



Графикон 2: Стабло одлучивања са форсираном варијаблом „радови“

3. ЗАКЉУЧЦИ

На основу претходно спроведеног истраживања и приказаних анализа може се закључити да је могуће вредновање конкуренције и предвиђање резултата консултантских услуга у грађевинској индустрији, као и да је могуће предвидјети сопствену и успјешност конкуренције на тржишту консултантских услуга.

Успјешно су коришћене методе дескриптивне статистике и генерисања правила из података (Data Mining) у селекционисању и вредновању конкуренције приликом лицитација у грађевинарству и избора консултантских услуга.

Закључено је да су добијени резултати за анализу и процедуру спроведену у посматраном периоду добар основ за предвиђање успјешности посматраног предузећа у предстојећем периоду пословања, као и његове позиције на тржишту и одабиру пословне стратегије у процесу доношења управљачких одлука.

Закључено је да је могуће предвидјети успјешност одређене понуђене консултантске услуге у конкретној ситуацији, да је могуће квантификовати варијабле које утичу на конкретну успјешност и да их је могуће рангирати путем правила одлучивања методом претраживања података.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Балабан, Н., Ристић, Ж. (2006). Пословна интелигенција, Економски факултет, Суботица

[2] Berry, M.J.A, Linoff, G.S. (2004). Data Mining Techniques For Marketing Sales And Customer Relationship Management, Second Edition, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana

[3] Ловрић, М., Комић, Ј., Стевић, С. (2017). Статистичка анализа: методи и примјена, II измијењено и допуњено издање, Народна и универзитетска библиотека Републике Српске, Бања Лука

[4] Peral, J., Maté, A., Marco, M. (2017). Application of Data Mining techniques to identify relevant Key Performance indicators, Computer Standards & Interfaces 50, 55-64.

[5] Станаревић, С. (2016). Предвиђање резултата консултантских услуга у грађевинарству, Часопис АГГ+, Универзитет у Бања Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, [4] 2016 4[1], 58-67

[6] https://www.ibm.com/developerworks/library/ba-data-mining-techniques/

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

INDIKATOR ENERGETSKE EFIKASNOSTI REPREZENTATIVNOG UZORKA POSTOJEĆEG VRTIĆA U BANJOJ LUCI PREMA PROJEKTNIM I IZMJERENIM PARAMETRIMA

INDICATOR OF ENERGY EFFICIENCY OF THE REPRESENTATIVE SAMPLE OF THE EXISTING KINDERGARDEN IN BANJA LUKA BY DESIGN PARAMETERS AND BY MEASURED PARAMETERS

DARIJA GAJIĆ[1], ALEKSANDAR JANKOVIĆ[2], LJUBIŠA PRERADOVIĆ[3]

[1] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, darija.gajic@aggf.unibl.org
[2] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, aleksandar.jankovic@aggf.unibl.org
[3] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org

Rezime: *U Bosni i Hercegovini, kao i u zemljama u okruženju indikator energetske efikasnosti u zgradama (EE) predstavlja potrebna toplotna energija za grijanje, koja se prema pravilnicima, koji su trenutno na snazi, izračunava uz pomoć projektnih parametara. Predmetni rad će prikazati indikator energetske efikasnosti nad reprezentativnim uzorkom vrtića smještenog u klimatskim uslovima Banjaluke. Komparativnom analizom projektnih parametara i izmjerenih parametara ukazaće se kolika su moguća odstupanja u procjenama i koliko to utiče na potrebnu toplotnu energiju za grijanje. Između ostalog, rad će ukazati koliki je značaj eksperimentalnih mjerenja pri procjeni parametara za indikator energetske efikasnosti kod postojećih vrtića, starijih od 35 godina.*

Ključne reči: *potrebna toplotna energija za grijanje, vrtić, projektni parametri EE, izmjereni parametri EE*

Abstract: *In Bosnia and Herzegovina, as well as in surrounding countries, the indicator of energy efficiency in buildings (EE) represents required energy for heating, which, according to the currently regulations is calculated with design parameters. The paper will present an indicator of energy efficiency on representative sample of kindergarden, located in the climatic conditions of Banja Luka. Comparative analysis of design parameters and measured parameters will indicate possible deviations in assesment and how much it affects on energy needs for heating. Among other things, the paper will show the importance of experimental measurements in evaluating the parameters for the indicator energy efficiency for existing kindergarden, older than 35 years.*

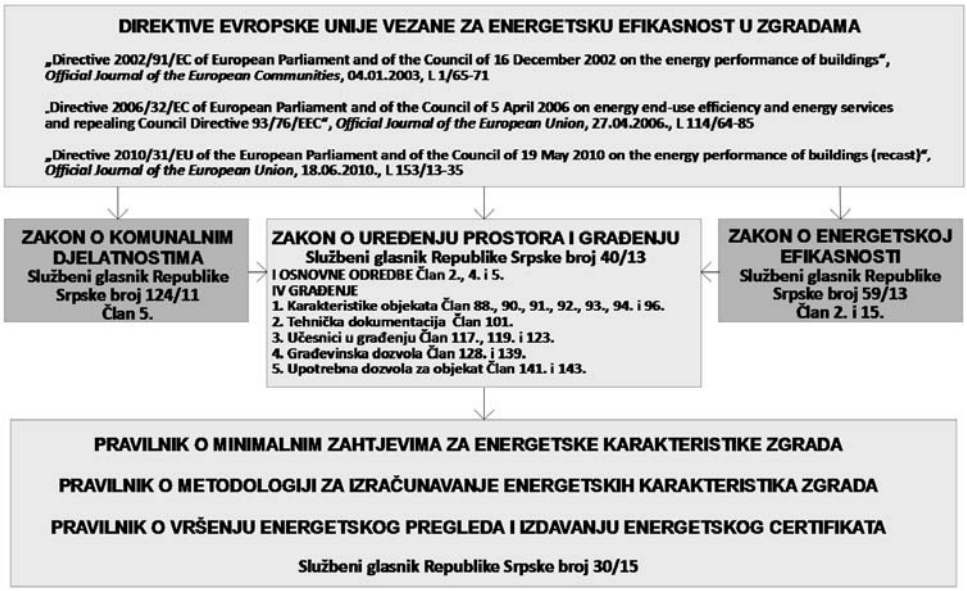
Keywords: *energy need for heating, kindergarden, design parameters EE, measured parameters EE*

1. UVOD

Energetska efikasnost podrazumijeva smanjenje nivoa korištenja energije, u svim sektorima krajnje potrošnje energije (industrije, transporta, uslužnih djelatnosti, stanovanja), ali tako da se udobnost (komfor) i stopa proizvodnje zadrže na istom nivou ili čak obezbijede viši nivo. Na koncept energetske efikasnosti u zgradama, koji ima zahtjeve za minimalnom potrošnjom energije, utiču sveobuhvatni granični uslovi (upotreba, energija, klima i komfor), urbanistički parametri i infrastruktura okruženja, omotač zgrade, instalacije u zgradi, materijali i strategije, koncepti i zakonski propisi, na osnovu kojih će se isplanirati mjere obnove zgrada usklađene sa energetskim, ekonomskim, ekološkim i društvenim zahtjevima (Hegger, 2008.)

Bosna i Hercegovina, a s tim i Republika Srpska, kao potpisnica Ugovora o uspostavi energetske zajednice, još 2006. godine (Sl. gl. BiH br. 09/06) se, između ostalog, obavezala da će poštovati direktive Evropske unije vezane za energetsku efikasnost, tako što će ih ugraditi u svoje domaće legislative (zakone i pravilnike). U Republici Srpskoj su od januara 2016. godine na snazi pravilnici vezani za energetsku efikasnost u zgradama - Slika 1.

U zavisnosti u koje se svrhe radi audit/pregled zgrada, energetski certifikat ili stvarna ušteda energije za postojeću zgradu, certifikovani auditor će izvršiti procjenu koliko će biti detaljni ili pojednostavljeni parametri za proračun $Q_{H,nd}$ – godišnje potrebne toplotne energije za grijanje – indikator energetske efikasnosti u zgradama (indikator za energetski certifikat) u Bosni i Hercegovini.



Slika 1: Zakoni i pravilnici vezani za energetsku efikasnost u zgradama u Republici Srpskoj

U svrhu energetskog certifikovanja zgrada, pravilnici zahtijevaju da se minimalne procijenjene energetske karakteristike zgrada vode projektnim vrijednostima iz projektne dokumentacije zgrade. Kod detaljnih energetskih audita, kada investitor želi prikaz stvarne potrošnje, te moguće tehničke mjere na uštedi energije, neophodno je da auditor svojom kompetentnošću odluči da li će se vršiti mjerenja i analize na omotaču zgrade, kao i da se prati vrijednost unutrašnje temperature u zgradi, kao i potrošnja energije. Ako zgrada ne posjeduje mjerače potrošnje energije bilo bi neophodno i da se vrše mjerenja i na ostalim tehničkim sistemima unutar zgrade (procjene efikasnosti sistema).

Gore navedeni pravilnici, koji su na snazi, ne zahtijevaju da se kod postojećih objekata u svrhu energetskog certifikovanja moraju vršiti mjerenja.

U radu se prikazuje indikator energetske efikasnosti dječijeg vrtića, koji nije posebna kategorija/klasa objekta u pravilnicima, te se prema pravilima struke vodi pod parametrima stambene gradnje (projektna temperatura, prirodna ventilacija).

2. PARAMETRI ZA ODREĐIVANJE INDIKATORA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADI

Na godišnju potrebnu toplotnu energiju za grijanje u zgradi, odnosno na toplotne gubitke i dobitke, utiču razni parametri koji su proistekli iz svih faza, koje inače učestvuju u planiranju i projektovanju zgrada.
Kod novih zgrada parametri su direktno sagledivi iz projektne dokumentacije, a kod postojećih zgrada zbog trajnosti i održavanja, kao i mnoštva izmjena kroz životni vijek zgrade, parametri se dobijaju procjenom auditora, utvrđivanjem na terenu, te iz standarda koji su navedeni u pravilnicima.

Podjela parametara za određivanje indikatora energetske efikasnosti u zgradi mogu se opšte podijeliti na arhitektonske i urbanističke parametre, a detaljnije, prema toku proračuna prema standardu EN 13790 na parametre koji utiču na toplotne gubitke zgrade i parametre koji utiču na toplotne dobitke u zgradi.
Arhitektonski parametri za određivanje indikatora energetske efikasnosti su:

- Faktor oblika zgrade (f_o=A/V), orijentacija, toplotno zoniranje, prisutnost i broj korisnika u zgradi (uticaj oblikovanja zgrade, dispozicija i namjena prostorija u zgradi),
- Materijalizacija omotača zgrade i udio transparentnog u odnosu na netransparentni dio omotača (uticaj primjenjenih materijala (U-koeficijent - kvaliteta (α-koeficijent) i kvantiteta (debljine) izolacionih materijala, odnos zastakljenja i kvalitet stakla i okvira–U_g, U_f i ψ_g-koeficijenti),
- Toplotni mostovi $_{\Delta}U_{TM}$, vazduhopropusnost (n) – konstruktivno rješenje detalja omotača.

Urbanistički parametri koji utiču na određivanje indikatora energetske efikasnosti, a koji bi identičan objekat prema arhitektonskim parametrima učinili drugačijim, jer je u pitanju druga lokacija zgrade, su:

- Mikroklimatski uslovi (intenzitet sunčevog zračenja, trajanje osunčanja, temperatura i vlažnost spoljašnjeg vazduha, brzina i dominantnost vjetra)
- Topografija terena (kotlina, brdo, ravnica)
- Izgrađenost okoline (susjedne zgrade, drveće).

Parametri koji utiču na toplotne gubitke zgrade (transmisione i ventilacione), a vode se tokom proračuna su:

- Toplotno zoniranje zgrade – u zavisnosti od namjene zgrade, unutrašnje projektne temperature, tipa i režima sistema grijanja, zgrada će se proračunski posmatrati cjelovito ili će biti podjeljena na toplotne zone, kada je neophodno raditi odvojene proračune,
- Faktor oblika zgrade (f_o=A/V) – odnos površine omotača zgrade i volumena prostora koji se grije
- Površina i podjela netransparentnog omotača prema spoljnim bruto dimenzijama u zavisnosti od vrijednosti U-koeficijenta i položaju elementa u odnosu na spoljašnji vazduh, grijani i negrijani prostor ili u kontaktu sa tlom
- Površina i podjela transparentnog omotača u zavisnosti od vrijednosti U-koeficijenta i g-koeficijenta (za toplotne dobitke) i prema orijentaciji (stranama svijeta)
- Toplotni mostovi na omotaču zgrade ($_{\Delta}U_{TM}$) – linijski gubici toplote u zavisnosti od konstruktivnog rješenja omotača (detaljnim proračunom, katalog toplotnih mostova ili aproksimativno)
- Vazduhopropusnost omotača – broj izmjena vazduha na čas (n)
- Toplotni kapacitet zgrade (C_m)– zavisi od vrste konstrukcije i završnih slojeva konstrukcije koji okružuju prostor i utiče na faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grijanja (η)

Parametri koji utiču na toplotne dobitke zgrade (unutrašnji dobici od korisnika (ljudi), rasvjete i električnih uređaja i dobici od sunčevog zračenja kroz transparentne površine omotača) su:

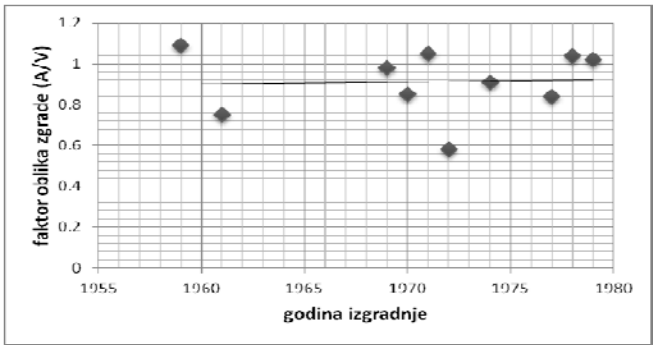
- Odavanje toplote ljudi i prisutnost u odnosu na korisnu grijanu površinu zgrade
- Doprinos od rasvjete i električnih uređaja u odnosu na korisnu grijanu površinu zgrade
- Površina, odnos okvira i stakla, kvalitet, zaprljanost i zaklonjenost transparentnog omotača – g-koeficijent, F_{sh}-faktor zasjenčenja u odnosu na količinu sunčevog zračenja prema toj orijentaciji

Pri određivanju stvarnih parametara koji utiču na toplotne gubitke, najčešće metode mjerenja uz pomoć mjernih uređaja, su:

- Metoda mjerenja prolaza toplote (Heat flow meter method)
- Određivanje vazduhopropusnosti (Blower door test)
- Infracrvena termografija (Infrared thermovision technique), gdje se na termogramu upoređuju varijacije površinskih temperatura na omotaču i kvalitativno otkrivaju toplotni mostovi u omotaču zgrade.

3. ODREĐIVANJE REPREZENTATIVNOG UZORKA POSTOJEĆEG VRTIĆA U BANJOJ LUCI

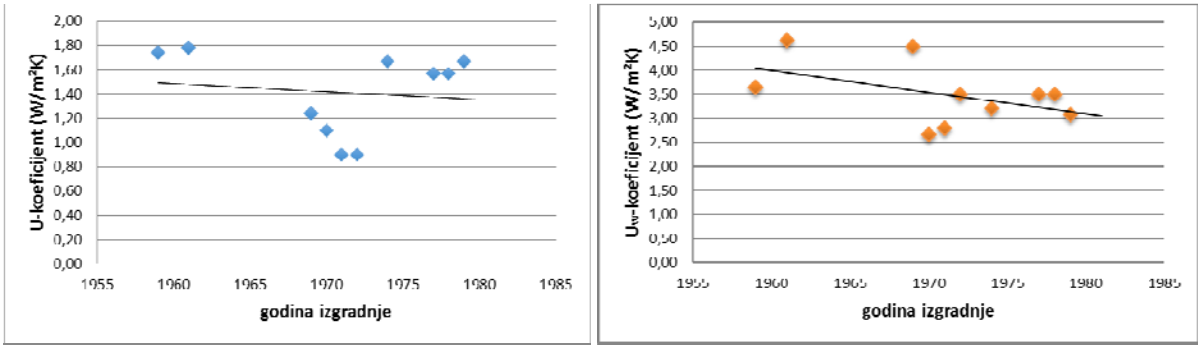
Reprezentativni uzorak postojećeg vrtića u Banjoj Luci izveden je na osnovu analiza 10 slobodnostojećih vrtića prema ključnim projektnim arhitektonskim parametrima, kojima je primarna i izvorna namjena vrtića, prema projektnoj dokumentaciji, održana i do danas, sa posebnim osvrtom na faktor oblika vrtića i prosječne koeficijente prolaza toplote za omotač. Predškolske ustanove/vrtići u Banjaluci građeni su razuđenih osnova, kao prizemni objekti sa konstrukcijama i materijalizacijom koja je bila u zavisnosti od istorijskih i socijalnih okolnosti, kao i od važećih propisa u izgradnji, pod istim uslovima, principima i zahtjevima koji su korišteni i za stambene zgrade. Slobodnostojeći vrtići u Banjaluci nemaju kompaktnu formu, te je prosječan faktor oblika takvih zgrada oko 0.90 (Slika 2).



Slika 2: Prosjek faktora oblika vrtića prema periodu izgradnje vrtića

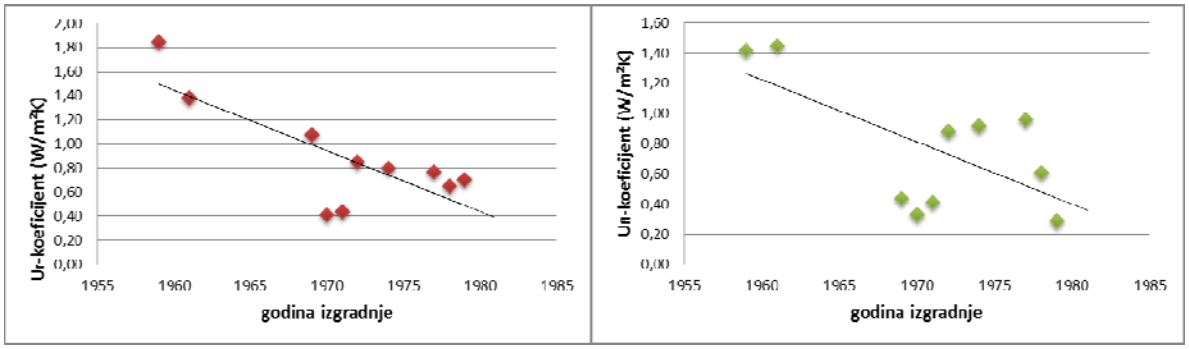
Izgradnja vrtića u Banjaluci počinje nakon Drugog svjetskog rata i traje tačno 20 godina. Najviše ih se gradi u desetogodišnjem periodu, nakon katastrofalnog zemljotresa u Banjaluci, 1969. godine, od 1970 do 1980. godine. Konstrukcija i materijalizacija vrtića tog 20-godišnjeg perioda izvode se na tri načina, koji ujedno prate socijalne okolnosti i industrijski razvoj tehnologija gradnje i materijalizacije na predmetnom području. Prvo se pojavljuju masivni zidovi - zidana konstrukcija od opeka, i to nakon Drugog svjetskog rata od pune opeke bez vertikalnih serklaža, a nakon zemljotresa zidana konstrukcija sa vertikalnim armirano-betonskim (AB) serklažima i skeletna konstrukcija od AB stubova i greda sa zidovima kao ispunom od ošupljenih

opeka ili šljakobetonskih termo-blokova. Projektna dokumentacija ukazuje i na laku drvenu konstrukciju – drvena potkonstrukcija ispunjena toplotnom izolacijom (mineralnom vunom), kao najčešće izvođena konstrukcija u petogodišnjem periodu nakon zemljotresa. Karakteristična gradnja konstrukcije i materijalizacije omotača nakon 1974. godine, zadržala se i do danas, gdje je prisutno povećavanje slojeva toplotne izolacije u omotaču.
Spoljašnji zidovi postojećih vrtića ne posjeduju toplotnu izolaciju, jedino što se nakon 1970. godine pojavljuje izolacija (mineralna vuna) kao ispuna kod vrtića koji su rađeni kao laki montažno-demontažni od drvene konstrukcije. Prosjek U-koeficijenta za spoljašnji zid kreće se oko 1,40 W/m^{2}K. Na postojećim vrtićima najčešće su postavljeni prozori sa dva drvena spojena krila koja posjeduju po jedno obično jednostruko staklo (drveni prozor sa dva obična stakla na razmaku). Iako je vidljivo, na slici 3., da je prosjek U-koeficijenta oko 3,50 W/m^{2}K, osim vrste okvira i zastakljenja, na vrijednost utiče i dimenzija otvora i podjela krila (dužina spojeva stakla sa okvirom).



Slika 3: Prosjek U-koeficijenta za vertikalni dio netrasparentnog omotača (zid), slika lijevo i za vertikalni dio transparentnog omotača (prozore), slika desno, prema periodu izgradnje vrtića

Kod postojećih vrtića u zavisnosti od godine izgradnje do 1970. godine javljaju se tavanski negrijani prostori bez toplotne izolacije, nakon 1970. godine, počinje izgradnja ravnih krovova sa pojavom toplotne izolacije od 5 cm, kao i upotrebe gas betona od 16 cm u ulozi toplotne izolacije. Najniži U-koeficijent kod krovova bilježi se kod vrtića od drvene konstrukcije. Prosjek U-koeficijenta za krov kreće se oko 0,80 W/m^{2}K. Podovi deset postojećih slobodnostojećih vrtića su tipa podova na tlu i prema razuđenosti poda, načinu gradnje i periodu izgradnje, vidno je na slici 4. da pojedini postojeći vrtići dostižu U-koeficijent za pod i prema važećim Pravilnicima koji su od 2016. godine na snazi. Razlog tome je izmjena proračuna za prenošenje toplote preko tla prema EN 13370. Prosjek U-koeficijenta za pod kreće se oko 0,90 W/m^{2}K.



Slika 4: Prosjek U-koeficijenta za krov, slika lijevo i za pod, slika desno, prema periodu izgradnje vrtića

Reprezentativni uzorak ukazuje na karakteristike postojećih vrtića, koji su građeni prije više od 35 godina, sa karakteristikama materijalizacije prema izvornoj projektnoj dokumentaciji i koji od izgradnje nije imao obnovu omotača.

4. KOMPARATIVNA ANALIZA PROJEKTNIH I IZMJERENIH PARAMETARA REPREZENTATIVNOG UZORKA POSTOJEĆEG VRTIĆA U BANJOJ LUCI

Odabrani reprezentativni uzorak postojećih vrtića grada Banjaluka, je vrtić Neven, koji ima projektnu dokumentaciju iz 1977. godine i koja ukazuje na skeletni armirano-betonski konstruktivni sistem sa ispunom

od opekarskog bloka i svojom materijalizacijom omotača odgovara zahtjevima toplotne zaštite navedenog perioda. Vrtić ima ravan neprohodan krov i pod na tlu. Zbog svog razuđenog gabarita i prizemne spratnosti, vrtić Neven ima faktor oblika od 0,82. Projektne vrijednosti U-koeficijenata za spoljašnji zid, kojeg prema slojevitosti vrtić ima u 5 tipova, kreću se od 0,62 do 3,32 W/m^{2}K (prosjek 1,47 W/m^{2}K), za prozore (14 tipova) od 3,20 do 3,98 W/m^{2}K (prosjek 3,55 W/m^{2}K), za krov (1 tip) 0,77 W/m^{2}K i za pod (5 tipova) od 0,80 do 2,36 W/m^{2}K (prosjek 1,12 W/m^{2}K). Prema najdominantnijim površinama vrtić Neven ima projektne vrijednosti U-koeficijenta za spoljašnji zid 1,42 W/m^{2}K, za prozor 3,50 W/m^{2}K, za krov 0,77 W/m^{2}K i za pod 0,80 W/m^{2}K.

Za ovo istraživanje na reprezentativnom uzorku izvršena su mjerenja dostupnih tačaka i to kod dominantnog spoljašnjeg zida i stakla dominantnog prozora – Slika 5. U isto vrijeme mjerena je unutrašnja temperatura vazduha (Gajić i dr., 2016.) i izvršen je test vazduhopropusnosti omotača (Janković i dr., 2016.) – Slika 6.

Slika 5: Prikaz glavnog ulaza i termovizijski snimak vrtića „Neven“

Slika 6: Prikaz mjerenja - prolaza toplote kroz zid i staklo prozora, lijevo, unutrašnje temperature, u sredini i vazduhopropusnosti, slika desno u periodu decembar 2015 – januar 2016.

Mjerenja U-koeficijenata na dominantnom zidu i staklu dominantnog prozora ukazuju na niže vrijednosti od projektnih, odnosno za zid 1,21 W/m^{2}K, a za staklo 2,73 W/m^{2}K (Tabela 1). Mjerenja dostupnih tačaka smanjile su prosječne vrijednosti U-koeficijenata za spoljašnje zidove na 1,38 W/m^{2}K, a za prozore na 2,82 W/m^{2}K. Vrtić posjeduje prvobitne drvene prozore sa dva obična stakla na razmaku, što prema procjenama za taj period g-koeficijent iznosi 0,77. Prema pravilniku procjena infiltracije kod prirodno ventilisanih objekata je na osnovu tabelarnog prikaza iz standarda EN 13789 – izloženosti fasade vjetru, položaja i klase zaptivenosti (pukotine) omotača. Najveći uticaj na infiltraciju može imati vrsta prozora i njihova starost od 40 godina. Procjenjena infiltracija zbog starosti objekta je 0,7 izmjena vazduha na čas, dok se izmjerena infiltracija vazduha kretala oko 0,5 h^{-1}. Projektna unutrašnja temperatura iznosi 20°C, dok je izmjerena temperatura bila 22°C – Tabela 1.

Procijenjeni projektni parametri za proračun potrebne toplotne energije, za U-koeficijente, iako su odstupali za 5-20% u odnosu na izmjerene parametre u konačnici nisu bitno uticali na procjenu potrebne toplotne energije za grijanje (3% viša $Q_{H,nd}$ preko izmjerenih parametara), jer je uticaj infiltracije vazduha bio niži od procjenjenog (izmjeren na 0,5), kao i izmjerena unutrašnja temperatura vazduha u prostorijama vrtića, koja je bila viša od projektne za 2°C. Pravilnikom određena unutrašnja projektna temperatura kod proračuna indikatora energetske efikasnosti u zgradama, potrebne toplotne energije za grijanje, mora se poštovati, te pri korištenju izmjerenih parametara za proračun pri certifikovanju vrtića, ne bi se smjela uzimati u obzir izmjerena unutrašnja temperatura, već samo izmjerene vrijednosti U-koeficijenata i infiltracije, pa bi tada odstupanje vrijednosti $Q_{H,nd}$ bilo za 11% niže od projektnih parametara (sa 288,10 kWh/m²a na 255,96 kWh/m²a).

Tabela 1: Komparativna analiza ključnih projektnih i izmjerenih parametara za proračun potrebne toplotne energije za grijanje vrtića „Neven“

PARAMETRI	M.J.	*Vrtić NEVEN*		
PERIOD	god.	1977		
GRIJANA POVRŠINA	m²	892		
SPRATNOST		P		
GRIJANI VOLUMEN	m³	2676		
Toplotni kapacitet	Wh/m²a	72		
Metabolička toplota	W/m²	3,8		
		PROJEKTNA	IZMJERENA	
U-koeficijent ZIDOVI	W/m²K	1,47	1,38	
U-koeficijent PROZORI	W/m²K	3,55	2,86	
U-koeficijent KROV	W/m²K	0,77	0,77	
U-koeficijent POD	W/m²K	1,12	1,12	
g-koeficijent	-	0,77		
fo=A/V	-	0,82		
infiltracija	1/h	0,7	0,5	
unutrašnja temperatura	°C	20	22	PROJEKTNA 20
ventilacija	kWh/m²a	0,00		
ljudi	kWh/m²a	5,93		
rasvjeta i električni uređaji	kWh/m²a	5,80		
$Q_{H,nd}$ - POTREBNA TOPLOTNA ENERGIJA ZA GRIJANJE	kWh/m²a	288,10	297,95	255,96

5. ZAKLJUČAK

Kod postojećih objekata, starijih od 35 godina, koji su u izvornom stanju, procjena projektnih parametra u odnosu na izmjerene parametre ne utiče bitno na procjenu energetskog razreda. U sve tri varijante proračuna vrtić je bio u posljednjem G razredu prema pravilniku koji je na snazi u Republici Srpskoj.

Pravilnici vezani za energetsku efikasnost zgrada u Bosni i Hercegovini (Republici Srpskoj), ne zahtijevaju da se vrše mjerenja, nego vođenje proračuna prema projektnim parametrima, što je opravdano kod starijih objekata koji su građeni kada tehničkim propisima nije zahtijevana toplotna izolacija. Mjerenja se moraju vršiti ako auditor procjeni da su na objektu vršene naknadne izmjene (obnova omotača) i dodavanje toplotne izolacije, a da postojeća projektna dokumentacija na to ne ukazuje.

LITERATURA

[1] Gajic D., Jankovic A., Preradovic Lj. i Antunovic B. (2016)., *Analysis of Air Temperature as a Physical Parametar of Thermal Comfort in the Kindergarden*, XLIII Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS-2016, pp. 195-200.

[2] Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). Energy manual: sustainable architecture. Basel: Birkhauser.

[3] ISO 9869:1994, Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance, metoda mjerenja prolaza toplote (Heat flowmeter method)

[4] ISO 9972:2006, EN 13829, Thermal performance of buildings -- Determination of air permeability of buildings -- Fan pressurization method, određivanje vazduhopropusnosti (Blower door test)

[5] ISO 9972:2006, EN 13187 Thermal insulation -- Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes -- Infrared method, infracrvena termografija (Infrared thermovision technique), na termogramu upoređivanje varijacija temperatura posmatranog omotača - ISO 6781:1983 i kvalitativno otkrivanje toplotnih mostova u omotaču zgrade

[6] Jankovic, A., Gajic, D. i Antunovic, B. (2016)., *The Significance of Blower Door Test in Determining a Number of Air Changes per Hour.* Proceedings of the XII International Scientific Conference of Contemporary Theory and Practice in Construction, Banjaluka: University of Banjaluka, Faculty of Architecture, Civil Engeenering and Geodesy, December 2016, pp. 229-236.

[7] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada, Sl. gl. RS br. 30/15

[8] Pravilnik o metodologiji za izračunavanje energetskih karakteristika zgrada, Sl. gl. RS br. 30/15

[9] Pravilnik o vršenju energetskog pregleda i izdavanju energetskog certifikata, Sl. gl. RS br. 30/15

[10] Ugovor o uspostavi energetske zajednice, Sl. gl. BiH br. 09/06

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ARHITEKTURA OBRAZOVNIH PROSTORA I DNEVNA OSVIJETLJENOST

ARCHITECTURE OF EDUCATIONAL SPACES AND DAILY HIGHLIGHT QUALITY

SAŠA B.ČVORO[1], MALINA ČVORO[2], UNA UMIĆEVIĆ[3], ALEKSANDAR JANKOVIĆ[4]

[1] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, sasa.cvoro@aggf.unibl.org
[2] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, malina.cvoro@aggf.unibl.org
[3] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, una.umicevic@aggf.unibl.org
[4] Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, aleksandar.jankovic@aggf.unibl.org

Rezime: *Osvijetljenje je jedan od važnijih psiholoških i fizioloških činilaca radnih uslova u obrazovnim prostorima. Osvijetljenje u obrazovnim ustanovama ima važnu ulogu u nastavnom procesu, a u zavisnosti od nivoa osvijetljenosti i primjenjenog sistema može podstaći i olakšati efikasnije učenje. Cilj ovog istraživanja je sagledavanje aktuelnog odnosa savremenih oblikovnih principa kod arhitektonskog projektovanja obrazovnih prostora sa aspekta osvjetljenja i to kroz primjer rekonstrukcije, adaptacije, nadogradnje i dogradnje zgrade Arhitektonsko-građevinsko-geodetskog fakulteta u Banjoj Luci. S obzirom na kompleksnost objekta, ne samo kada je u pitanju administrativni i edukativni dio i njihova organizacija, već i specifičnost radnog zadatka u školi za tri studijska programa, u radu je predstavljena analiza dostupnosti dnevne svjetlosti dobijene kroz međuprostor starog i novog dijela objekta.*

Ključne reči: *obrazovanje, arhitektonsko projektovanje, osvijetljenost, ravnomijernost osvijetljenosti*

Abstract: *Lighting is one of the most important psychological and physiological factors in working conditions in educational areas. The lighting in educational institutions have an important role in the learning process, and depending on the level of illumination. Applied systems can encourage and facilitate effective learning. The aim of this study is to assess the current relations of modern design principles in intervention on existing buildings, in terms of lighting, and on the example of the reconstruction, refurbishment, upgrading and extension of the building of Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy in Banja Luka. Given the complexity of the object, not only when it comes to administrative and educational part and their organization, but also the specificity of the assignment at the school of these three study programs, the paper presents an analysis of the availability of daylight received through the space between the old and new.*

Keywords*: education, architectural design, luminance, uniform luminance*

1. PRIRODNO OSVIJETLJENJE U OBRAZOVNIM PROSTORIMA

U okviru stvaralačkog procesa arhitektonske organizacije i oblikovanja dnevno osvijetljenje unutrašnjeg prostora traba da stvara sredinu koja obezbjeđuje odgovarajuću fiziološku, psihološku i vizuelnu udobnost za buduće korisnike. Osim toga, osvijetljenje treba da odgovara i tehničko-ekonomskim i estetskim zahtjevima. Kvalitetno dnevno osvjetljenje ne olakšava samo gledanje i dobro raspoznavanje, već stvara uslove za podizanje produktivnosti rada, povećava sigurnost i spriječava prijevremeni zamor.

Osvijetljenje je jedan od važnijih psiholoških i fizioloških činilaca radnih uslova i u obrazovnim prostorima. Zavisno od oblika i tipa nastave potrebno je osigurati primjeren kvalitet i jačinu osvijetljenja. Dnevno osvijetljenje u obrazovnim ustanovama igra značajnu ulogu u nastavnom procesu, a u zavisnosti od nivoa osvijetljenosti i primjenjenog sistema može podstaći i olakšati efikasnije učenje. U učionicama sa dovoljno dnevne svjetlosti korisnici prostora su u stanju da brže i lakše razviju vještine i duže održe koncentraciju. (Janković, Umićević, 2015)

U prostorijama koje se upotrebljavaju pri dnevnoj svjetlosti i gdje nema dovoljno prirodnog osvijetljenja, dodatnim vještačkim osvijetljenjem treba obezbijediti ujednačenu raspodjelu svjetlosti kako bi se stvorio psihološki utisak svjetlosti i u dubini prostorije, smanjila neravnomjernost i bljesak, te osigurala potrebna osvijetljenost za rad. U učionicama koje su osvjetljenje samo sa jedne strane postoji velika razlika u osvijetljenosti na pojedinim mjestima u prostoriji. Dopunsko vještačko osvjetljenje, samo ukoliko se dobro

riješi, ima tu dobru stranu što se njime postiže ravnomjerno osvjetljenje svih radnih površina u prostoriji, odnosno čitave prostorije. Međutim, dopunsko osvijetljenje treba uvijek izvoditi tek pošto se prethodno obave sve predhodne analize i temeljno prouči svaki konkretni slučaj, jer nepravilno rješenje u tom pogledu ne samo što neće ispuniti osnovne zahtjeve nego će proizvesti i razne smetnje, neugodno psihološko djelovanje, zasjenjivanje, ali i nepotrebne troškove. Prostorna ravnomjernost se definiše kao odnos minimalne i srednje izmjerene vrijednosti osvjetljenosti površine, a kao donju granicu ravnomjernosti za opšte osvjeteljenje treba usvojiti 0,6, odnosno 0,8 za osvjetljenje radnog mjesta.(Đokić, 2007)

Savremene obrazovne objekte neophodno je posmatrati kao živi organizam i vitalni prostor za njihove korisnike. Stalne promjene u funkcionalnom korišćenju, socijalnom i političkom kontekstu i ekonomskom razvoju manifestuju se i kroz prostornu organizaciju, ali i načine arhitektonskog oblikovanja. Ovi arhitektonski elementi treba da budu ispisani savremenim jezikom, dok namjena i svrsishodnost objekata ne smiju biti ugroženi. Međusobno usklađeni, svrsishodna namjena prostora i savremeni arhitektonski oblici izražavanja naročito doprinose vrijednosti i obagaćivanju urbanog prostora i cjelokupnog arhitektonskog ambijenta. Sve je više primjera rješavanja prostorne koegzistencije različitog pri čemu vremenom raste svijest o tome da objekti nikada nisu završeni, da oni i dalje žive, mijenjaju se i prilagođavaju vremenu.

2. FAKTOR DNEVNE OSVIJETLJENOSTI KAO PARAMETAR KOMFORA

Prirodno osvijetljenje neke prostorije se može kvalitativno mjeriti odgovarajućim fizičkim veličinama, od kojih su najznačajnije osvijetljenost i faktor dnevne osvijetljenosti. Osvijetljenost neke površine definiše se kao odnos svjetlosnog fluksa koji pada na datu površinu i njene veličine. (Georgijević, 2000) Jugoslovenski komitet za osvjetljenje (JKO) u školama preporučuje određene vrijednosti za različite aktivnosti. Tako za prostore namijenjene opštim kancelarijskim radovima JKO preporučuje osvijetljenost od 250 lx, dok je za računovodstvo i knjigovodstvo potrebno obezbijediti osvijetljenost od 500 lx, a za tehničko crtanje čak 1000 lx. U školama je za prostore učionica, kabineta i radionice za sve vrste običnog ručnog rada preporučena osvjetljenost od 250 lx, a dvostruko više za crtaonice, laboratorije i radionice se za sve vrste preciznijeg ručnog rada. Posebno su izdvojene prostorije javne namjene, a ovdje jednako važne, dvorane za predavanja, konferencije, galerije, odnosno izložbene prostorije u kojima je preporučeno osvjetljenje 500 lx. U kancelarijama opšte namjene sa daktilografijom, djelatnostima sa korišćenjem ekrana i za kompjuterske prostorije, bilo da su u pitanju radni prostori ili škole, preporučuje se osvjetljenje od 500lx. (JKO)

U obrazovnim objektima mogli bismo posmatrati osvijetljenje i zahtjeve koji odgovaraju radnim prostorijama i onim namijenjenim obrazovanju. Međutim, ovi prostori imaju višestruku funkciju i podrazumijevaju fleksibilno odvijanje različitih aktivnosti u njima, za šta je neophodno i odgovarajuće osvjetljenje, te je potrebno pažljivo analizirati preporuke i smjernice u skladu sa svim zahtijevima za osvijetljenjem. Baza za objektivno procjenjivanje i proračunavanje unutrašnjeg osvjetljenja je faktor dnevne osvijetljenosti dobijen na osnovu spoljnog kritičnog osvjetljaja. Jedino mjerenjem vrijednosti faktora dnevne osvijetljenosti određuje se intezitet unutrašnje osvijetljenosti koja potiče od dnevnog osvjetljenja. Faktor dnevne osvijetljenosti izražava se u procentima i pokazuje koji dio dnevne svjetlosti je dostupan u unutrašnjosti objekta. S obzirom da se mjeri pri potpuno oblačnim uslovima pokazuje minimalnu prirodnu svjetlost dostupnu u unutrašnjem prostoru. Ovakvim mjerenjem dobiju se precizni rezultati naročito kada je očitavanje vrijednosti sinhronizovano. (JKO, 1974)

Da bi se izbjegla nedovoljna osvijetljenost prirodnim fluksom, potrebno je da faktor dnevne osvijetljenosti bude dovoljno veliki (Veličković, Lenard, Mudri, 2009), a minimalne vrijednosti ove veličine propisane su odgovarajućim standardima. British Standard Code of Practice propisuje za učionice faktor dnevne osvijetljenosti od 5 %, a za specijalne učionice 10 %. Kao najmanji dozvoljeni faktor ovdje je propisano svega 2 %. (Baylon, 1962) U tabeli 1 prikazane su standardom definisane vrijednosti faktora dnevne osvijetljenosti u zavisnosti od zahtjeva za pojedine vidne zadatake.

Tabela 1: Zahtjevi za osvjetljenjem i factor dnevne osvijetljenosti dobijen na prosječnu dnevnu osvijetljenost 5000lx (U.C9.100, 1962)

Zahtjevi	Osvijetljenost (lx)	Faktor dnevne osvijetljenosti (%)
Veoma mali	30 do 50	0,6 do 1,0
Mali	50 do 80	1,0 do 1,6
Srednji	80 do 150	1,6 do 3,0
Veliki	150 do 300	3,0 do 6,0
Veoma veliki	300 do 600	6,0 do 12,0
Izuzetno veliki	600 i više	12,0 i više

3. KVALITET OSVIJETLJENOSTI PROSTORA NA PRIMJERU ZGRADE AGGF-A

Mogućnosti arhitektonske organizacije i materijaizacije transformisanog prostora i njegova forma su u uzročno - posljedičnoj vezi, a optimalno rješenje je rezultat njihovog prilagođavanja. Kod transformacije postojećih objekata forma dograđene strukture može biti u većoj ili manjoj mjeri uslovljena okruženjem tj. urbanističkim uslovima, kakav je primjer nove zgrade Arhitektonsko – građevinsko - geodetskog fakulteta u Banjoj Luci. (Čvoro, Čvoro, 2012)

Projektom nove zgrade Fakulteta je predviđena intervencija na postojećoj zgradi "Tereza", koja je smještena u centralnom dijelu Univerzitetskog grada. Postojeća zgrada izgrađena je u vrijeme Austro-ugarske uprave, 1889. godine i služila je za vojne potrebe. Slobodnostojeći objekat, koji već dugi niz godina nije u funkciji, prije početka radova se nalazio u lošem stanju, ali se povremeno koristio za izvođenje nastave, održavanje studentskih radionica ili se koristio kao izložbeni prostor. Intervencija na zgradi "Tereza", koja je podrazumijevala sanaciju, rekonstrukciju, dogradnju i nadogradnju postojećeg objekta jasno je obilježena dijalogom između starog i novog objekta. Cilj je bio da se sačuva suštinski karakter postojeće zgrade i da se transformacijom uvede novo značenje kako bi dobila potpuno novu funkcionalnu ulogu i identitet.

Potencijal, težište buduće zgrade Arhitektonsko – građevinsko – geodetskog fakulteta smješteno je u međuprostoru između postojećeg objekta Tereza i novog, dograđenog dijela. Ovaj specifični prostor između unutrašnjeg i spoljašnjeg, starog i novog, zona granice, poligon je međudejstva programa i njegovih korisnika. Unutar transparentnog hola, gdje se razdvajaju i objedinjuju dva dijela građevine, preplitanjem njihovih funkcija, na mostovima, galerijama i stepeništima koncentrišu se svi tokovi i komunikacije unutar zgrade. Pitanje transformacije postojećeg objekta i prenamjene od vojnog do prostora za rad i obrazovanje dodatno se usložnjava kada uzmemo u obzir specifičnost radnog zadatka u školi arhitekture, građevinarstva i geodezije i višestruku funkciju ovih prostora, a upravo ovdje, u međuprostoru, ponuđen je odgovor na ova, ali i druga pitanja. (Čvoro, Čvoro, 2011)

Hol dodatno dobija na značaju ako sagledamo projekat sa aspekta osvijetljenosti, jer je upravo projektovanom distancom i širinom hola između starog dograđenog dijela fakulteta, omogućena višestrana osunčanost svih dijelova stare i nove zgrade. Na ovaj način omogućena je penetracija dnevne svjetlosti i u samu unutrašnjost kompleksa, a stari dio"Tereza", sačuvao je identitet samostojećeg objekta, svoju estetiku jednostavnosti, proporcije, ujednačen ritam prostornih elemenata koji se ponavljaju i nose u sebi prizvuk nekog drugog vremena. Sačuvani su postojeći otvori i istočno i jugoistočno Sunce u unutrašnjosti Tereze. (Slika 1).

U ovom trenutku, kada su završeni grubi građevinski radovi, a prostori fizički definisani potrebno je izmjeriti i analizirati parametre kvaliteta osvijetljenosti kako bi se definisalo u kojoj to mjeri dnevna svjetlost ne može da odgovori planiranim zahtjevima, a sve u cilju projektovanja što kvalitetnijeg integrisanog sistema osvjetljenja.

Slika 1: Trodimenzionalni prikaz centralnog hola AGGF-a

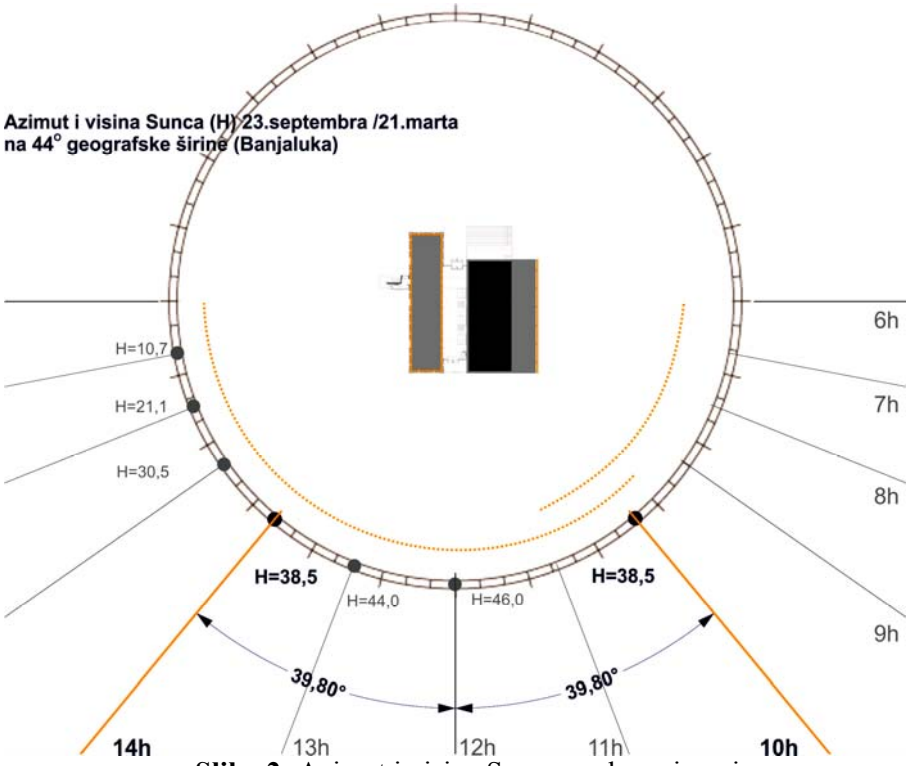
3.1. Metodologija mjerenja

Mjerenje osvijetljenosti izvršeno je u sva tri dijela zgrade: starom, novom i u međuprostoru hola - ulice. Osvijetljenost je mjerena u starom dijelu, projektom namijenjenog administraciji. Posmatrajući objekat u cjelini, ovaj dio je zapadno orijentisan i nepromijenjenog ritma otvora. Ipak, projektom su predviđene kancelarije orijentisane i ka istoku, odnosno holu preko kojeg bi dobijale dio dnevne svjetlosti. Izvedeno stanje je takvo da ne postoje pregradni zidovi pa ovaj jedinstven prostor dobija bilateralno osvjetljenje sa istočne i zapadne strane. Novi dio zgrade fakulteta sadrži jedan veliki i tri manja amfiteatra, te učionički blok u kojem je vršeno mjerenje. U ovom bloku učionice su fleksibilne organizacije i u ovoj fazi blok je jedinstven prostor istočno orijentisanih laterarnih otvora bez unutrašnjih pregrada.

Kao što je prikazano na slici 1. prelazni, a ujedno i kritični period varijabilnog osvjetljaja, za oba dijela objekta je u periodu od 10 do 14 časova. Stari dio je u potpunoj sijenci sve do 10 časova, kada dio istočne i južna fasada, a kasnije i zapadna, dobijaju direktno zračenje od Sunca, dok je drugi sprat u potpunosti osvijetljen usljed visine koji ima Sunce u ovom trenutku. U martu i septembru ugao pod kojim padaju sunčevi zraci je veći od 45° tek jedan sat prije odnosno poslije podne, dok u 7 (17) časova ovaj ugao iznosi svega 10,7°.(Tvarovski, 1969) Sa druge strane, novi dio objekta, gdje je planiran učionički blok, dobija osvijetljenje preko lateralnih otvora istočne orijentacije do 11 časova nakon čega ostaje u sopstvenoj sijenci.

Osnovna motivacija za izbor ovih prostorija je u njihovoj specifičnoj i višestrukoj namjeni za koje su jasno definisani parametri kvaliteta (dnevne) osvijetljenosti. U ovako orijentisanim prostorijama može se očekivati kako vremenska tako i prostorna neravnomijernost dnevne osvijetljenosti, a već je prethodno naglašen značaj pravovremenog utvrđivanja ravnomijernosti, odnosno u kojoj mjeri treba obezbijediti dodatno osvjetljenje.

Mjerenje osvijetljenosti izvršeno je pomoću data logera Almemo Ahlborn 2690-8 i odgovarajućeg senzora kojim se mjeri osvijetljenost (luksmetra) u više tačaka unutar prostorija. Položaj tačaka određen je položajem svjetlosnih površina na udaljenosti 2 m od njihove vertikalne simetrale i na visini od 0.85 m iznad poda (Slika 2).



Slika 2: Azimut i visina Sunca na dan mjerenja

3.2. Rezultati mjerenja

U tabeli 1 prikazane su izmjerene vrijednosti osvijetljenosti i ravnomijernosti osvijetljenosti izabranih tačaka u prostorima starog i novog dijela objekta na dan 23. septembra 2015. godine. Još jedan od parametara kvaliteta osvijetljenosti prostora, faktor dnevne osvijetljenosti, nije sračunat za ova mjerenja, jer nisu bili ostvareni uslovi za mjerenje i izražavanje ove veličine. S obzirom na orijentaciju ovih prostora mjerenje je vršeno dva puta i to dva sata prije podne i dva sata poslije podne kako bi se utvrdila i vremenska ravnomjernost osvijetljenosti u ovim prostorima.

Tabela 2: Rezultati mjerenja

	STARI DIO/TEREZA			NOVI DIO		
	prizemlje		2. sprat	prizemlje		2. sprat
vrijeme mjerenja	dva sata do podne	dva sata poslije podne	podne	dva sata do podne	dva sata poslije podne	podne
SREDNJA HORIZONTALNA OSVIJETLJENOST	291	229	1922,7	1113,5	551,4	911,3
Osvjetljaj najnepovoljnijeg radnog mjesta	196	146	640	591	331	568
PROSTORNA RAVNOMIJERNOST OSVIJETLJENOSTI mid:min	0,67	0,64	0,33	0,53	0,64	0,62

Prosječna osvijetljenost u prostoru prizemlja starog dijela objekta izmjerena dva sata do podne prvog dana iznosila je 291 lx, odnosno 229 lx drugog dana mjerena dva sata poslije podne. S obzirom na to da su u ovom dijelu planirane prostorije za administraciju i opšte kancelarijske radove, a za koje JKO preporučuje 250 lx, mogli bismo zaljučiti da je izmjereno osvjetljenje u granicama prihvatljivog. Kada je u pitanju prostorna ravnomijernost odnos minimalne izmjerene osvijetljenosti i srednje horizontalne osvijetljenosti je 0,67 odnosno 0,64, što je iznad donje granice. Ipak, prostor prizemlja Tereze je jedinstven prostor jer u ovoj fazi nisu izvedeni pregradni zidovi, a kao takva dobija osvjetljenje preko bilateralnih otvora. U ovoj situaciji postiže se vremenska ravnomijernost unutrašnjeg dnevnog osvijetljenja, a dejstvo direktnog sunčevog zračenja spriječeno je spoljašnjim preprekama, na istočnoj strani to je novi dio objekta a na zapadnoj parkovsko okruženje i zelenilo. Srednja horizontalna osvijetljenost izmjerena na drugom spratu Tereze iznosi 1922,7, a najnepovoljnije radno mjesto ima osvjetljaj od 640 lx. Prostorna ravnomjernost osvijetljenosti je ovdje najnepovoljnija i iznosi 0,33.

S druge strane, izmjerene vrijednosti u učioničkom bloku novog dijela se znatno razlikuju prema vremenu mjerenja. Srednja horizontalna osvijetljenost mjerena prije podne iznosi 1113,5 lx i kao takva zadovoljava visoke zahtijeve za osvijetljenosti zadataka tehničkog crtanja, dok je vrijednost od 591 lx izmjerena za najslabije osvijetljeno radno mjesto i tako ispunila zahtjeve za rad na računaru kao i precizniji ručni rad. Par sati kasnije u istim ovim prostorijama izmjerena je dvostruko niža srednja osvijetljenost, dok najslabije osvijetljeno radno mjesto ima osvjetljaj od 331 lx. Osvjetljenost izmjerena u podne u učioničkom bloku na drugom spratu ima trend opadanja u skladu sa vrijednostima izmjerenim u prizemlju prije i poslije i iznosi 911,3 lx, dok najnepovoljnije radno mjesto ima osvjetljaj od 568 lx. Ravnomijernost osvijetljenosti ovdje je iznad donje granice za opšte osvjetljenje.

Prosječna osvijetljenost hola je 3774 lx. S obzirom na to da je hol sada nenatkriven, što je slučaj i sa drugim spratom Tereze, kao takav se može smatrati poluotvorenim. Rezultati dobijeni u ovim prostorima ne mogu se adekvatno obraditi i analizirati, ali svakako treba imati u vidu odnos osvijetljenosti susjednih prostorija. Tako na primjer odnos osvijetljenosti hola i prizemlja u Terezi iznosi 1: 12,9. Po završetku radova na izvođenju objekta nivo osvijetljenosti u holu i na drugom spratu Tereze će znatno opasti. Ovdje treba imati u vidu preporuku za gornju granicu odnosa osvijetljenosti susjednih prostorija od 1:5.

4. ZAKLJUČAK

Unutar kompleksa Univerzitetskog grada buduća zgrada Arhitektonsko – građevinsko - geodetskog fakulteta je nosilac nove slike ovog urbanog kompleksa, simbol njegovog prepoznavanja. U potrazi za kvalitetnim rješenjem, objektima je dat najadekvatniji fizički izraz, koji treba biti prepoznatljiv, ali i prihvatljiv za njegove buduće korisnike. Konačan rezultat je spoj stare i nove zgrade, planiran tako da obuhvati kvalitete svih elemenata arhitektonskog izraza, čineći jedinstveno i cjelovito djelo. Nezaobilazan uslov za autore je bio uočavanje osobenosti, jedinstvenosti prostora, koja se u ovom slučaju odnosi na vrijednost konteksta, da bi se transponovala u promišljen koncept obrozovnog prostora. Radovi na izgradnji objekta počeli su 2013. godine i još uvijek traju.

Određivanje osvijetljenosti koja je dnevnog karaktera, neophodno je kako bi se utvrdilo da li su ispunjeni osnovni uslovi za boravak i rad u prostoriji sa aspekta osvijetljenja i kako bi se odredilo u kojoj mjeri dnevna svjetlost može da se iskoristi u unutrašnjem prostoru. Obrazovne ustanove imaju jasno definisane zahtjeve,

regulisane normativima i standardima, a u kojima su preporučene granične vrijednosti fotometrijskih parametara za određivanje kvaliteta osvjetljenja. Jedan od ovih parametara je faktor dnevne osvijetljenosti kojim je ispitivan kvalitet (osvijetljenosti) unutrašnjeg prostora na primjeru zgrade Arhitektonsko – građevinsko - geodetskog fakulteta u Banjoj Luci. Imajući u vidu prostornu organizaciju, orijentaciju prostorija, kao i odnos vertikalne svjetlosne površine i površine poda, koji je za sve posmatrane prostore zadovoljavajući, mjerenjem u fazi izgradnje objekta tokom 2015. godine nisu dobijeni očekivani rezultati. U svim ispitivanim sobama postoji velika neravnomijernost u osvjetljenju. Faktor dnevne osvijetljenosti varira od onog koji zadovoljava veoma velike zahtjeve osvijetljenosti do vrijednosti ispod donje granice. U ovakvim situacijama neophodno je uvesti dodatno, vještačko osvjetljenje u cilju postizanja odgovarajućeg nivoa i ravnomjernosti osvijetljenosti prostorije, iako su poznate prednosti prirodnog osvjetljenja i njegov značaj u prostorima namjenjenim za boravak i učenje.

Prostorne potrebe zgrade su definisane trenutnim i planiranim brojem studenata, te nastavnim procesom koji se odvija na tri odsjeka. Predloženo, projektovano i izvedeno rješenje transformacije postojećeg objekta, njegova dogradnja i prenamjena u savremeni obrazovni objekat, obezbijediće najpovoljnije uslove rada sa aspekta dnevne osvijetljenosti ukoliko se:

- U prostoru postojećeg objekta "Tereza", očuva nivo osvjetljenja i njegova ravnomjernost pažljivim odabirom boja i materijala, svjetlosnih površina, odnosno cjelokupnom arhitekturom unutrašnjeg prostora;
- U novom dijelu učioničkog bloka uskladi program i raspored upotrebe prostorija koji bi koristio prirodno osvjetljenje što je moguće više, jer ispunjava određene, odgovarajuće zahtjeve za različite nivoe nastavnog procesa;
- U holu kontrolisano izvoditi završne radove u cilju smanjenja neravnomijernosti osvjetljenja između susjednih prostorija i neugodnog blještanja te na taj način osigurati laku i brzu adaptaciju oka na prelasku.

LITERATURA

[1] Baylon, M. (1962). Školske zgrade, Građevinska knjiga, Beograd.

[2] Čvoro S.B., Čvoro M. (2011). Obnova arhitektonskih objekata u funkciji definisanja identiteta prostora; Međunarodni skup Arhitektura i urbanizam, građevinarstvo, geodezija – Juče, Danas, Sutra; Arhitektonsko građevinski fakultet; Zbornik radova, Banja Luka.

[3] Čvoro S.B., Čvoro M. (2012). Projekat Zgrade Arhitektonsko građevinskog fakulteta u Univerzitetskom gradu u Banjoj Luci, Arhitektonsko građevinski fakultet, Banja Luka.

[4] Đokić L. (2007). Osvetljenje u arhitekturi. Zahtjevi i smernice za projektovanje. Arhitektonski fakultet Univeziteta u Beogradu; Beograd.

[5] Georgijević, V. (2000). Tehnička fizika. Beograd: Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet.

[6] Janković A., Umićević U. (2015). Faktor dnevne osvijetljenosti kao parametar kvaliteta (osvijetljenosti) prostora; Naučno-stručna konferencija sa međunarodnim učešćem SFERA2015: Oblikovanje i tehnologije arhitektonskih otvora; Zbornik radova, Mostar

[7] Preporuke za osvetljenje, (1974). Jugoslovenski komitet za osvetljenje (JKO), Beograd

[8] Tvarovski, M. (1969). Sunce u arhitekturi. (str. 39-46; 75-78). Beograd: Građevinska knjiga.

[9] U.C9.100. (1962). Dnevno i električno osvetljenje prostorija u zgradama. Službeni list FNRJ.

[10] Veličković, M., Lenard, J.-D., & Mudri , L. (2009). Prirodno osvetljenje prostora - zašto, kako i koliko? Stručni skup i savetovanje Osvetljenje. Srpsko društvo za osvetljenje.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PODRŠKA ODRŽAVANJU ZGRADA ZAJEDNICA ETAŽNIH VLASNIKA

SUPPORT TO THE MAINTENANCE OF THE BUILDING COMMUNITY

LJUBIŠA PRERADOVIĆ[1], DARKO DIVNIĆ[2]

[1]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org
[2]Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, divnic@gmail.com

Rezime: *U radu je predstavljena programska podrška održavanju dijelova zgrade i stanova u okviru zajednice etažnih vlasnika uz podršku informacionog sistema za upravljanje i poslovanje zajednica etažnih vlasnika zgrada. Informacioni sistem korisnicima omogućuje integraciju aktivnosti za samostalno i optimalno planiranje, upravljanje i održavanje stanova u okviru zajednice etažnih vlasnika. Obezbijeđeno je da zajednice, kao pravna lica, jednostavno upravljaju svojim resursima i pri planiranju sistemskog održavanja omogućuju finansijsku stabilnost i sposobnost za funkcionisanje.*

Ključne riječi: *Održavanje zgrada, zajednica etažnih vlasnika, planiranje, upravljanje, informacioni sistem.*

Abstract: *The paper presents software support for the maintenance of parts of buildings and apartments within the community of floor owners with the support of the information system for the management and operation of the communities of floor owners of buildings. The information system enables users to integrate activities for independent and optimal planning, management and maintenance of apartments within the community of floor owners. It is ensured that communities, as legal entities, simply manage their own resources and, when planning systemic maintenance, provide financial stability and ability to function.*

Keywords: *Maintenance of buildings, community of floor owners, planning, management, information system.*

1. UVOD

Od stupanja na snagu zakona o održavanju stambenih zgrada (Zakon o održavanju zgrada 2011) ozbiljan društveni problem u gradovima predstavlja održavanje zajedničkih površina unutar stambenih zajednica. Ovim Zakonom predviđeno je finansiranje i održavanje dijelova zgrada koji su definisani kao „zajednički“ (glavni zidovi, krov, liftovi, stepeništa, hodnici, elektroinstalacije i dr.) i predviđeno je osnivanje Zajednice etažnih vlasnika (ZEV), kao posebnog pravnog lica, zaduženog i ovlašćenog za izvođenje svih navedenih aktivnosti (Zakon o održavanju zgrada 2011, Pravilnik o upisu u registar zajednica zgrada 2012).

Za kvalitetno i blagovremeno održavanje zgrada, planiranje aktivnosti i upravljanje resursima neophodno je obezbijediti veliki broj relevantnih informacija putem informacionog sistema (Pravilnik o upisu u registar zajednica zgrada 2012).

2. POTREBA ZA INFORMACIONIM SISTEMOM ZAJEDNICA ETAŽNIH VLASNIKA

Zajednice etažnih vlasnika mogu biti veoma kompleksni sistemi koji sadrže veliki broj stambenih jedinica sa više etažnih vlasnika i više različitih poslovnih namjena. Pored toga, vlasnici mogu imati u posjedu više jedinica na teritoriji više opština, a javlja se i potreba za objedinjavanjem svih potrebnih informacija. ZEV raspolaže velikim brojem različitih podataka o organizacionoj strukturi, dobavljačima usluga, vrstama usluga, načinima obračuna, osnovnim sredstvima za održavanje objekta, velikom broju finansijskih transakcija itd., koje, osim brojnosti, odlikuju i stalne promjene vlasničke strukture ili broja stanara (Zakon o održavanju zgrada 2011). Prethodno navedeno ukazuje na potrebu izrade informacionog sistema za upravljanje i rad zajednica etažnih vlasnika.

Značajne su i brojne poslovne funkcije i procesi: usluge, naplata, održavanje opreme, analiza, planiranje itd.

Za podršku održavanju zgrada i poslovanja ZEV najbitnije je omogućiti sljedeće:

- Podršku za korišćenje različitim grupama korisnika (fizička lica, pravna lica, organi državne uprave);
- Proširivost, fleksibilnost i prilagodljivost, kao mogućnost jednostavne i brze izmjene strukture i načina prikaza sadržaja za pojedinu ZEV i/ili korisnika (vlasnika);
- Dostupnost i davanje usluga korisnicima u bilo koje vrijeme sa bilo kojeg mjesta;
- Pružanje personalizovane elektronske usluge i lična izvještavanja o važnim pitanjima za svakog pojedinca, zavisno od njihovih zahtjeva, bilo da se radi o privatnom licu, poslovnom subjektu ili dobavljaču;
- Pristup informacijama, na osnovu privilegija koje ima grupa kojoj korisnici pripadaju;
- Povezivanje sistema sa drugim sistemima i veb-orijentisanim servisima, bez obzira na primijenjenu tehnologiju i platformu;
- Sigurnost i povjerljivost materijala i dokumenata, kroz sigurnost aplikacije i kontrolu, te bezbijednost pristupa jedinstvenoj bazi podataka;
- Kontrolu donošenja odluka organa ZEV, kroz hijerarhijski organizovanu i distribuiranu službu održavanja ZEV;
- Funkcionalnu i jednostavnu strukturu aplikacije održavanja, logičan redoslijed važnosti tema i kategorije servisa;
- Transparentno praćenje procesa i procedura – dostupan status korisničkih podataka za bilo koji prethodni period, kao i trenutne informacije o samom statusu održavanja ZEV.

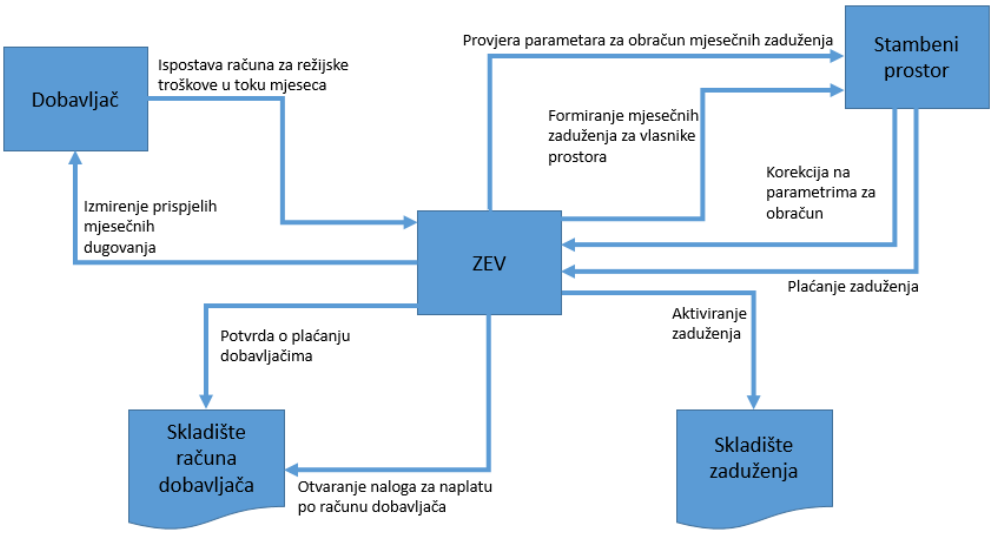
3. FUNKCIONISANJE ZAJEDNICA ETAŽNIH VLASNIKA

Bitni faktori koji neposredno utiču na funkcionisanje ZEV jesu (Divnić 2014):

- Promjene vlasničke strukture;
- Loša planiranja utrošaka sredstava na održavanje u prethodnom vremenu;
- Loše stanje zgrada i zajedničkih prostora;
- Dotrajala i istrošena električna, vodovodna, kanalizaciona i ostala infrastruktura;
- Sredstva i oprema koja mora biti periodično atestirana;
- Neažurna dokumentacija i
- Velika dugovanja etažnih vlasnika iz prethodnog perioda.

Planiranje razvoja informacionog sistema započeto je strategijskim projektovanjem pomoću Business System Planning (BSP) metode, a zatim je kreirana arhitektura informacionog sistema koja je podijeljena na informacione podsisteme i module i njihove međusobne veze, te grupe podataka koji ih opisuju (Divnić 2014, Dejanović 2010).

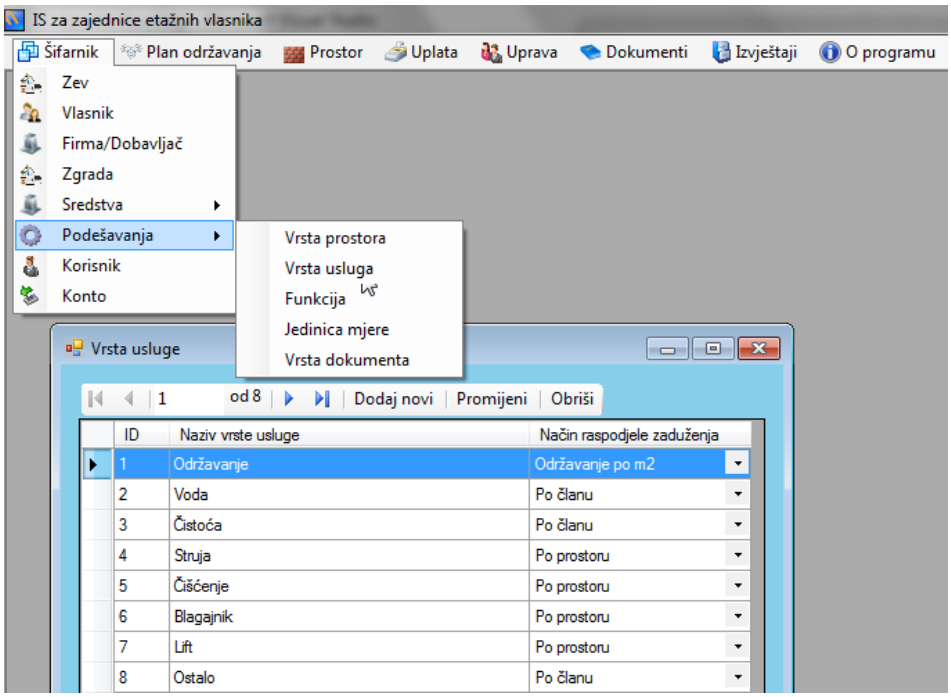
Metodologijom Strukturne sistemske analize (SSA) realizovana je dekompozicija složenih procesa modeliranjem na primitivne funkcije i njihove međusobne veze (Divnić 2014, Dennis 2012, Shelly 2012) i prikazan je dio modela toka podataka za procese prijema mjesečnih računa, od dobavljača do distribucije tih dugovanja na zaduženja vlasnika stambenih prostora, shodno parametrima za obračun zaduženja (slika 1).



Slika 1: Dio modela toka podataka ZEV

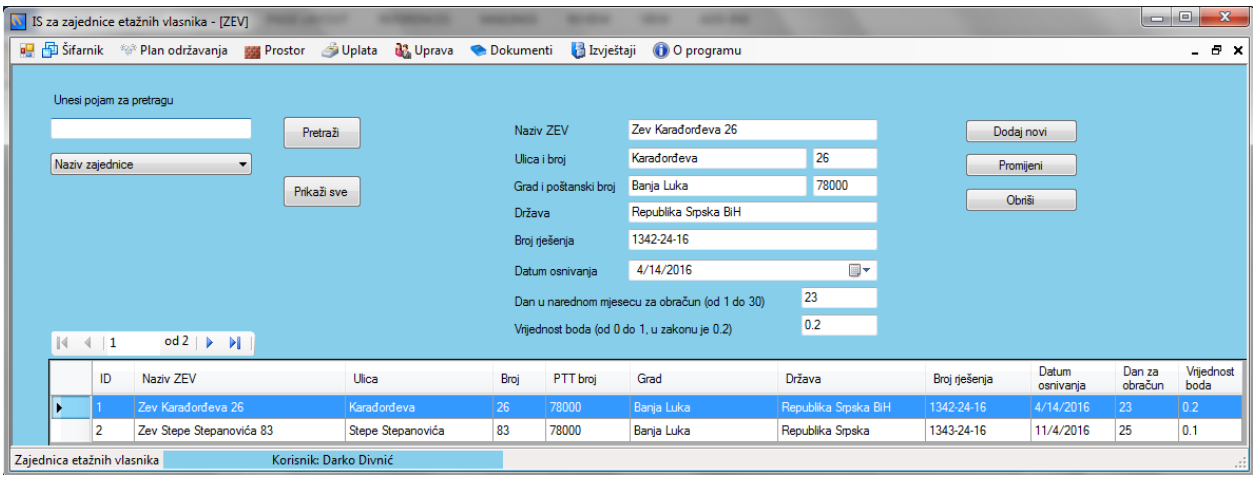
Implementacija informacionog sistema realizovana je pomoću razvojnog alata Visual studio 2008 u programskom jeziku C++/CLI uz pomoć biblioteka .NET Framework-a 3.5 (Lippman 2002, Hogenson 2008, Fraser 2009). Relaciona baza podataka je Microsoft SQL server Desktop Edition 2008, a izvještaji su kreirani uz pomoć Crystal reports za Visual Studio (Bagui 2008). Dizajn sistema je prilagođen za laku upotrebu, a prozori aplikacije imaju posebno istaknute zajedničke detalje zasnovane na korisnički prihvatljivoj ergonomiji (Dennis 2012).

Da bi sistem pravilno funkcionisao, neophodno je popuniti šifarnike koji se nalaze na traci sistemskog menija, a neki od njih su prikazani na slici 2.

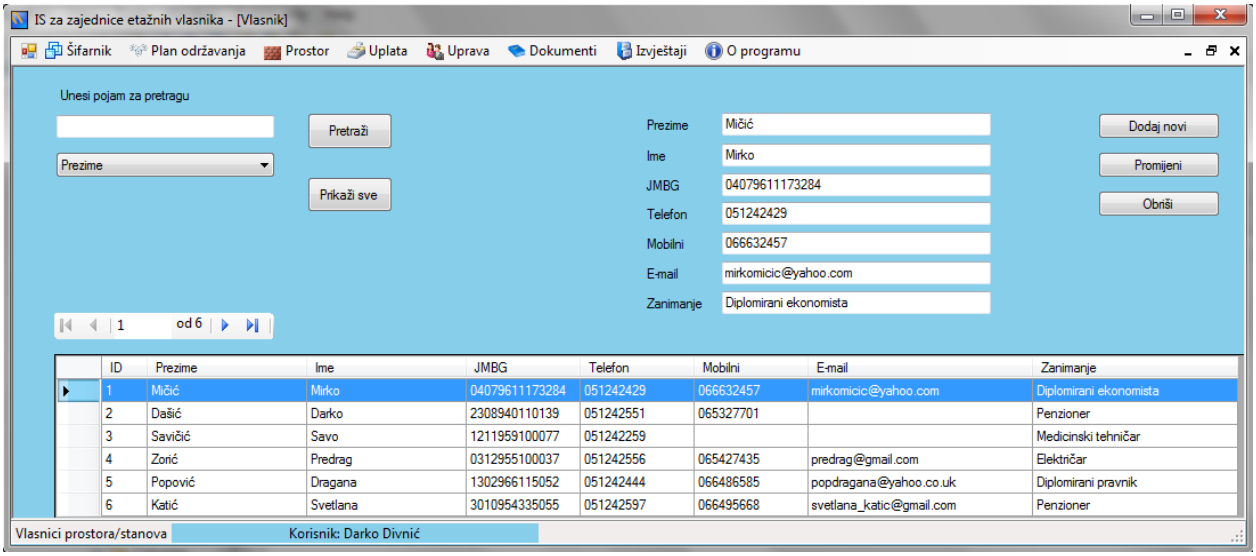


Slika 2: Pregled osnovnog menija i šifarnika sistema

Nakon završetka registracije ZEV, u informacioni sistem unose se podaci o ZEV (slika 3), a potom se vrši evidencija vlasnika stambenih i ostalih jedinica u okviru ZEV (slika 4).

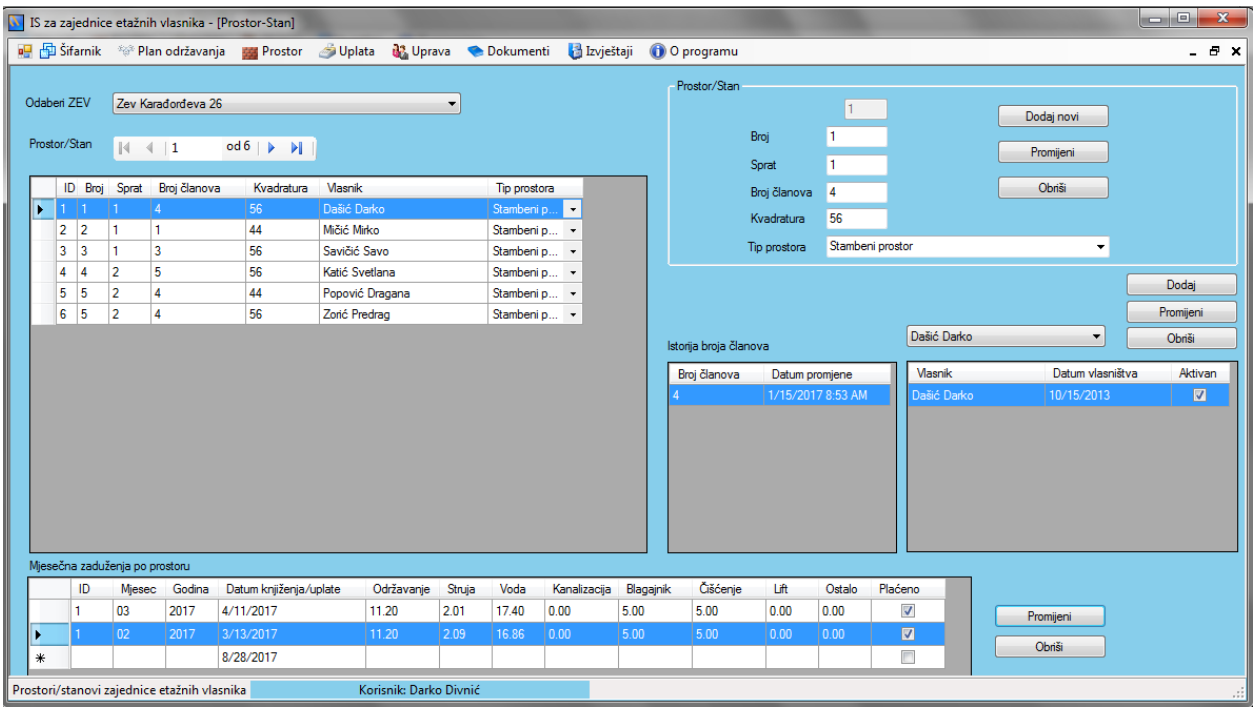


Slika 3: Kreiranje pojedine ZEV



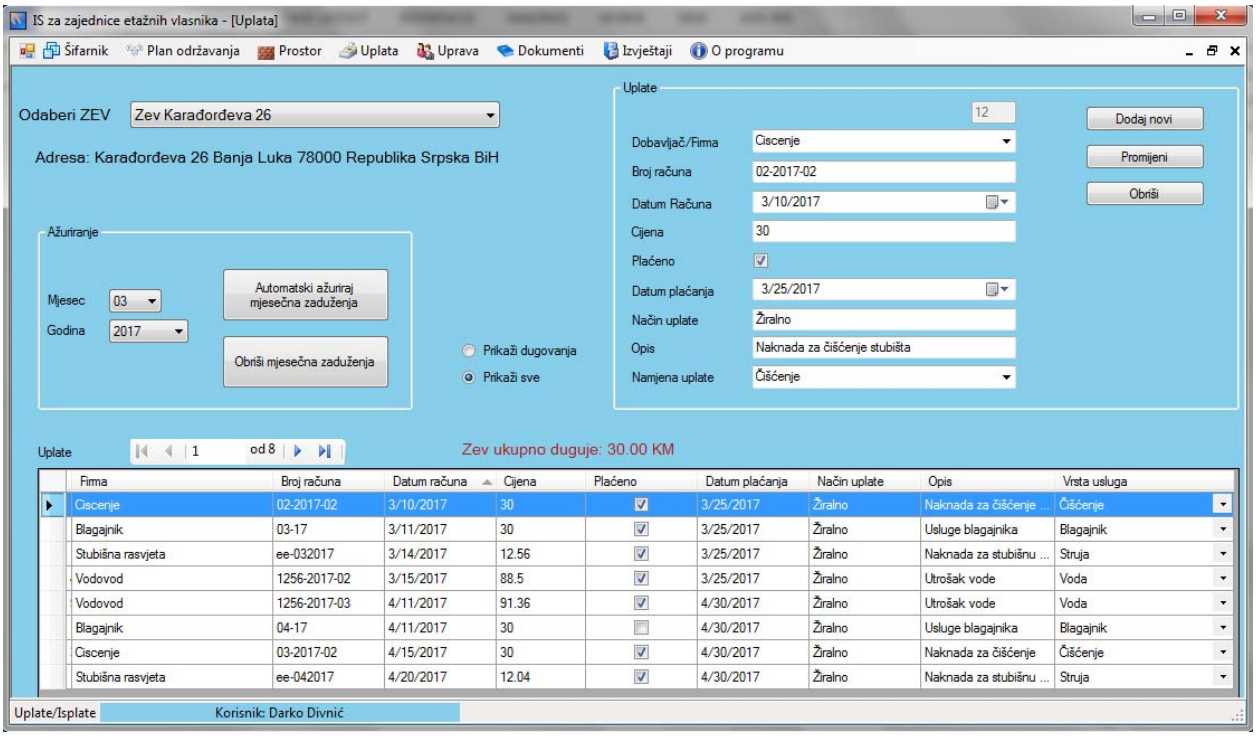
Slika 4: Evidencija vlasnika stambenih jedinica

Izračunavanja mjesečnih zaduženja za vlasnike stanova u okviru ZEV zasnovana su na režijskim troškovima ZEV, kao i na troškovima koji su dio redovnog održavanja. Obavljaju se periodično, određenog dana u mjesecu, za svaki ZEV. Na slici 5 prikazani su stanovi, koji pripadaju jednoj ZEV, s mjesečnim zaduženjima vlasnika stanova, u zavisnosti od broja članova i površine stambene jedinice.



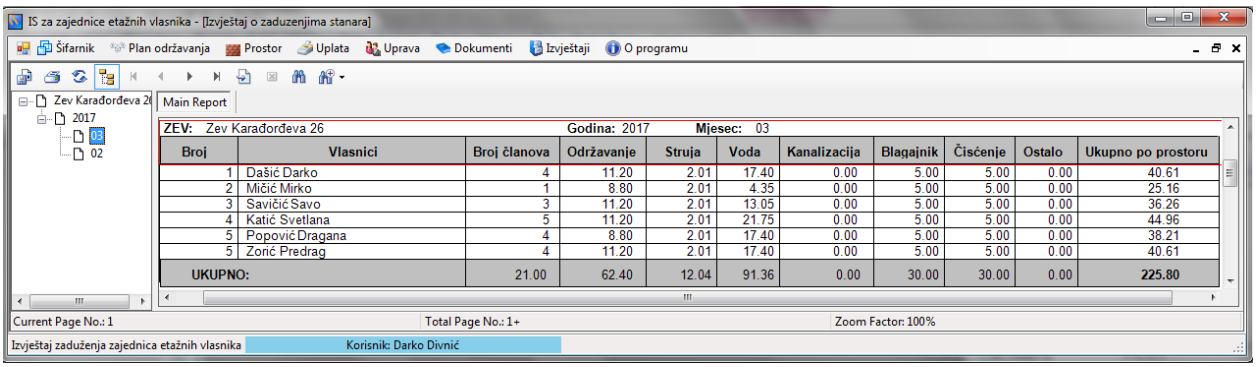
Slika 5: Stanovi koji pripadaju jednoj ZEV s mjesečnim zaduženjima vlasnika stanova

Evidencija uplata prema dobavljačima usluga pedstavljena je na slici 6. Menadžmentu ZEV se putem ovakvog sistema serviraju klasifikovane informacije i izvještaji o svim sredstvima, učestalosti održavanja, zaduženjima, uplatama i dugovanjima po različitim vremenskim parametrima. Takođe je moguće koristiti periodičnu dinamičku provjeru izvršavanja plana održavanja, koja je realizovana putem izvještaja.



Slika 6: Evidencija uplata prema dobavljačima

Izvještaj o zaduženjima vlasnika stambenih i drugih jedinica generiše se za svaki mjesec, a vlasnicima je omogućeno jednostavno i transparentno praćenje, kako vlastitih, tako i zaduženja drugih vlasnika. Na slici 7 prikazan je izvještaj za jedan mjesec.



Slika 7: Izvještaj o pojedinačnim zaduženjima za mart 2017

4. ZAKLJUČAK

Prednost ovakvog sistema je u tome što se veliki broj prikupljenih podataka može koristiti u različite svrhe. Pored navedenih primjera upotrebe, prikupljeni podaci koriste se i za automatsko generisanje obrasca za prijavu poreza na nepokretnosti. Osim toga, na osnovu podataka o konstrukciji i materijalima upotrijebljenim pri gradnji objekata, moguće je dobiti parametre pomoću kojih će se sertifikovati određeni objekat i svrstati u određeni energetski razred. Upravljanje svakom organizacijom uključuje donošenje odluka i rješavanje problema, a u tu svrhu neophodne su informacije i znanja. Informacioni sistem ZEV omogućava efikasnu i pouzdanu obradu podataka i generisanje informacija, što doprinosi efikasnijem upravljanju i održavanju stanova i zgrada, a samim tim pomaže i upravama zajednica da planski i sistematski rukovode poslovima vezanim za zajednice etažnih vlasnika.

S ciljem povećanja efikasnosti poslovne korespondencije između korisnika i dobavljača usluga, u toku je razvoj veb-aplikacije koja registrovanim korisnicima nudi uvid u stanja sopstvenih računa.

LITERATURA

[1] Zakon o održavanju zgrada, Službeni glasnik Republike Srpske broj 101/11, Banja Luka, 2011.

[2] Pravilnik o upisu u registar zajednica zgrada, Službeni glasnik Republike Srpske broj 27/12, Banja Luka, 2012.

[3] Divnić D., Vlačić D., Preradović Lj. & Avramović Z. (2014). Informacioni sistem zajednica etažnih vlasnika, XIII Zbornik radova INFOTEH − JAHORINA, 846−851.

[4] Dejanović R. & Preradović LJ. (2010). Softverski inženjering, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Banja Luka.

[5] Dennis A., Wixom B. H. & Roth R. M. (2012). Systems analysis and design, 5th ed., John Wiley & Sons, New Jersey, USA.

[6] Shelly G. B. & Rosenblatt H. J. (2012). Systems Analysis and Design, Edition 9, Course Technology, Boston, USA.

[7] Lippman S. B. (2002). Essential C++, Addison Wesley, USA.

[8] Hogenson G. (2008). Foundations of C++/CLI: The Visual C++ Language for .NET 3.5, Apress, New York, USA.

[9] Fraser S. R. G. (2009). Pro Visual C++/CLI and the .NET 3.5 Platform, Apress New York, USA.

[10] Bagui S. S. & Earp R. W. (2008). Essential SQL on SQL server 2008, Jones and Bartlett Publishers, USA.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OPTIMALNI IZBOR GUSTINE MREŽE LINIJSKIH NOSAČA PRIMENOM METODE KONAČNIH RAZLIKA

OPTIMAL NUMBER OF MESH POINTS FOR BEAM USING FINITE DIFFERENCE METHOD

DUŠAN TURINA[1], ALEKSANDAR KOSTIĆ[2], BOJAN MILOŠEVIĆ[3]

[1] Visoka građevinsko-geodetska škola, dturina@vggs.rs
[2] Visoka građevinsko-geodetska škola, aleksandarkostic@vggs.rs
[3] Visoka građevinsko-geodetska škola, bojan@vggs.rs

Rezime: *U ovom radu je prikazan postupak numeričkog modeliranja ugiba kod linijskih nosača primenom metode konačnih razlika. Date su osnovne postavke metode konačnih razlika kao i njena primena u građevinarstvu. Odredjivanje ugiba kod grednog nosača različitih konturnih uslova sprovedeno je programskim paketom MATLAB, a tako dobijena rešenja su upoređena sa analitički dobijenim rešenjima, pri čemu su rezutati prikazani grafičkim putem. Na osnovu sprovedene analize dobijenih rezultata dolazi se do zaključka da se povećanjem gusine mreže povećava i tačnost rešenja.*

Ključne reči: *Numeričke metode, metoda konačnih razlika, gredni nosač, optimalan izbor.*

Abstract: *This paper presents the procedure of numerical modeling beam using Finite difference method. There are also presented the basics of Finite difference method and the usage in Civil engineering. Numerical solutions for beam deflections depending on boundary conditions, and they are calculated and designed by MATLAB and controlled with analytical solutions. Results are also presented graphically. By the analysis increasing the mesh error of the calculation is also increasing.*

Keywords: *Numerical methods, Finite difference method, Beam, Optimal choice.*

1. UVOD

Mnogi fizički problemi koji se javljaju u inženjerskim konstrukcijama se opisuju diferencijalnim i parcijalnim diferencijalnim jednačinama. Iz tog razloga, za izraze za koje ne postoje eksplicitna rešenja, pretpostavljaju se približna rešenja u diskretnom (izabranom) čvoru. Dobijena rešenja su približna, određene tačnosti, zavise od gustine mreže (čvorova), pri čemu je potrebno da celokupno rešenje bude što bolje aproksimirano po celoj oblasti.

Sagledavajući fizičku stranu problema, unapred se predviđaju izvesni elementi analitičkog rešenja tako da problem definisan pomoću složenih (kompleksnih) diferencijalnih jednačina, treba da bude pojednostavljen i sveden na sistem algebarskih jednačina. Broj algebarskih jednačina koje se rešavaju i koje daju zadovoljavajuće rešenje je često velik i obično se rešava primenom računara, korišćenjem programskih jezika ili odgovarajućih programskih paketa. Da bi se dobilo numeričko rešenje potrebno je dobiti generalizovano rešenje koje može da se koristi i za dobijanje posebnih rešenja za bilo koje podatke. Postoje mnoge numeričke metode koje su ranije razvijene, ali još uvek postoji potreba za razvojem novih, odnosno razvijanjem već postojećih.

Metoda konačnih razlika, MKR, predstavlja numerički postupak rešavanja diferencijalne jednačine u tački, koja se koristi za rešavanje problema za koje rešenje nije moguće odrediti eksplicitno. Primena metode konačnih razlika nije moguća na proizvoljnoj konturi, pa zahteva dodatnu mrežu i van konture, odnosno dodatne čvorove, koje je potrebno prethodno definisati, što predstavlja jedan njen nedostatak. Nedostatak metode koja je posledica graničnih uslova može se prevazići primenom proširene metode konačnih razlika.

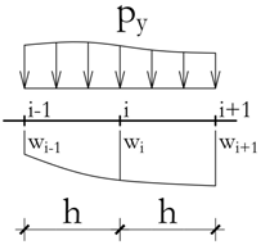
Počecima metode konačnih razlika, MKR, smatra se teorijski rad (Courant, 1928). Osnove metode su prikazane u knjigama (Forsythe & Wasow, 1960), (Richtmyer & Morton, 1967), (Poceski, 1999). Postoji veliki broj radova u kojima su prikazana rešenja pri određivanju uticaja u gredi (Thankane & Styš, 2009), (Zaj, 2015), (Demirović, Požegić, Topalović, & Osmirić, 2016), (Han, i drugi, 2016), (Kemonger, 1980), uticaja u temeljnoj gredi na elastičnoj podlozi (Al-Azzawi, 2010), (Al-Azzawi, 2011), temeljnih zidova

(Despotović, 2007), kao i određivanju uticaja u ploči (Ghods & Mir, 2014), (Prskalo & Vrdoljak, 2016), (Dolićanin, Nikolić, & Dolićanin, 2010).

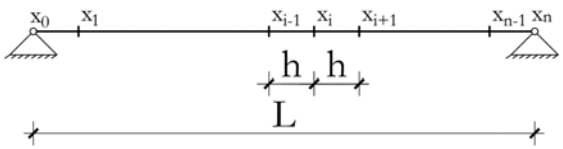
U ovom radu je uz pomoć metode konačnih razlika prikazano rešavanje jednačine ugiba grede za različite konturne uslove. Određivanje ugiba je sprovedeno uz pomoć programskog paketa MATLAB u kome je napravljen program, a tako dobijeni rezultati su prikazani grafičkim putem. Na ovaj način dobijene vrednosti ugiba su upoređene sa vrednostima ugiba koje su dobijene primenom analitičkog rešenja, pri čemu je određeno i odstupanje u funkciji gustine mreže. Optimalnim izborom gustine mreže dolazi se do vrednosti ugiba čija vrednost odstupanja je dovoljno mala u odnosu na vrednost ugiba koja je određena analitičkim putem.

2. METODA KONAČNIH RAZLIKA

Suština metode konačnih razlika je u izražavanju bilo kog izvoda funkcije f(x) u diskretnom (izabranom) čvoru, putem vrednosti ordinata te funkcije u susednim i unapred određenim čvorovima datog intervala, odnosno mreže, Slika 1. Sama funkcija je na intervalu neprekidna i diferencijabilna. Diferencijalne jednačine se zamenjuju njihovim diferencijskim ekvivalentima, pri čemu kao nepoznate figurišu vrednosti tražene funkcije u izabranom čvoru usvojene mreže. Na taj način rešavanje diferencijalnih jednačina se svodi na rešavanje sistema algebarskih jednačina. U diferencijalnim jednačinama od (1) do (3) odgovara levi oslonac u tački x_0, a desni u tački x_n, slika 2.



Slika 1.



Slika 2.

Rešenje ovih jednačina daje približno rešenje problema u traženim čvorovima. Smanjenjem veličine intervala numeričko rešenje konvergira ka tačnom rešenju.

Ako se funkcija ugiba u okolini tačke x_i razvije dobijaju se sledeći izvodi:

$$\frac{dw}{dx} \approx \frac{(w_{i+1} - w_{i-1})}{2h} \tag{1}$$

$$\frac{d^2w}{dx^2} \approx \frac{(w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1})}{h^2} \tag{2}$$

$$\frac{d^4w}{dx^4} \approx \frac{(w_{i-2} - 4w_{i-1} + 6w_i - 4w_{i+1} + w_{i+2})}{h^4}. \tag{3}$$

Granični uslovi za slobodno oslanjanje su dati sledećim graničnim uslovima $w_0=0$, $w_n=0$, $w_{-1}=-w_1$, $w_{n-1}=-w_{n+1}$, slika 3.a. Pri formiranju drugih izvoda kod oslonačkih čvorova u obzir treba uzeti i ekstrapolisane čvorove van oslonaca. U slučaju da je greda obostrano uklještena za ekstrapolisane čvorove važi $w_{-1}=w_1$, $w_{n-1}= w_{n+1}$, slika 3.b.

a) b)

Slika 3.

3. ODREĐIVANJE UGIBA PO TEORIJI PRVOG REDA

Diferencijalna jednačina štapa po teoriji prvog reda glasi (Poceski, 1999):

$$\frac{d^2}{dx^2}\left(EI\frac{d^2w}{dx^2}\right) = p_y \,. \tag{4}$$

U slučaju pravog prizmatičnog štapa opterećenog transverzalnim opterećenjem p(x) izraz (4) postaje

$$\frac{d^4w}{dx^4} = \frac{p(x)}{EI} \,. \tag{5}$$

Podelom dužine grede na n jednakih delova, $h = \frac{L}{n}$ i diskretizacijom područja u n+1 čvoru ($x_i = i \bullet h$, i=0,1,2,...,n) izraz (6) za svaki čvor x_i glasi

$$\frac{\left(w_{i-2} - 4w_{i-1} + 6w_i - 4w_{i+1} + w_{i+2}\right)}{h^4} = \frac{p(x)}{EI} \,, \tag{7}$$

pri čemu sistem od (n-1) linearnih algebarskih jednačina treba dopuniti graničnim uslovima.

4. NUMERIČKI PRIMER

Kroz numeričke primere primenom metode konačnih razlika prikazano je određivanje ugiba grednog nosača sa različitim konturnim uslovima, opterećenog jednakopodeljenim opterećenjem. Vrednosti ugiba određene su u funkciji gustine mreže.

Tabela 1: Ugib proste grede

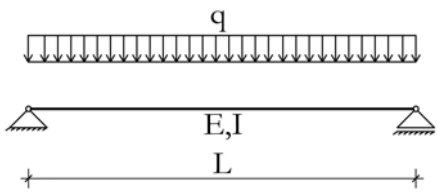
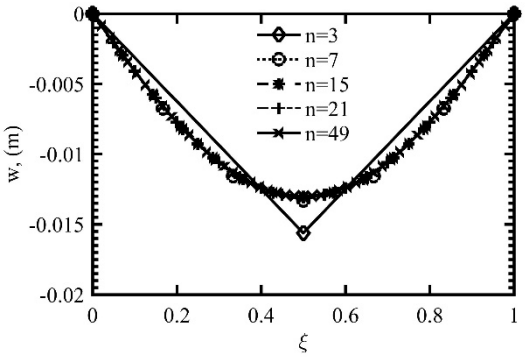
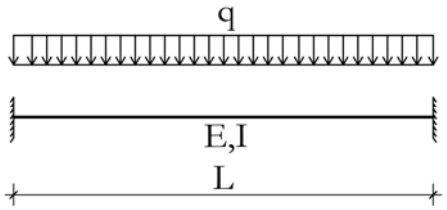
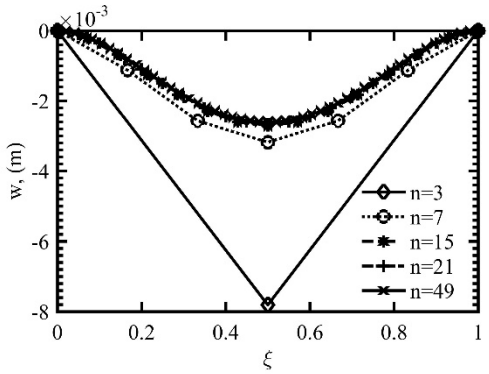
		
Tačno rešenje:	Približno rešenje:	Greška:
$w_{max} = w_{L/2} = \frac{5}{384}\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI} = 0{,}01302083\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$w_{L/2}^{n=3} = 0.015625\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$ $w_{L/2}^{n=7} = 0.013310185\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$ $w_{L/2}^{n=15} = 0.01307397959\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$ $w_{L/2}^{n=21} = 0.013046875\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$ $w_{L/2}^{n=49} = 0.0130324074\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=3} = 16{,}67\%$ $e_{L/2}^{n=7} = 2{,}17\%$ $e_{L/2}^{n=15} = 0{,}41\%$ $e_{L/2}^{n=21} = 0{,}20\%$ $e_{L/2}^{n=49} = 0{,}09\%$

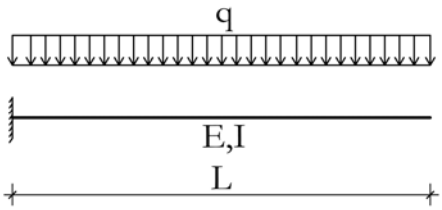
Tabela 2: Ugib obostrano uklještene grede

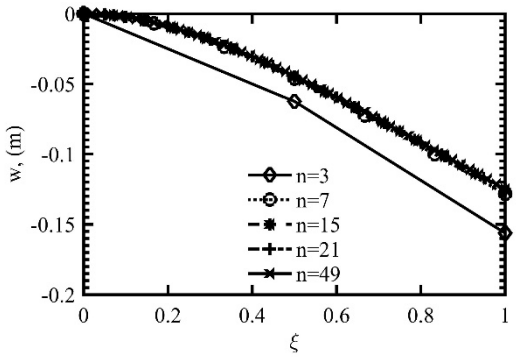




Tačno rešenje:	Približno rešenje:	Greška:
$w_{max} = w_{L/2} = \frac{1}{384}\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI} = 0{,}0026042\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$w_{L/2}^{n=3} = 0.0078125\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=3} = 66{,}67\%$
	$w_{L/2}^{n=7} = 0.00318287\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=7} = 18{,}17\%$
	$w_{L/2}^{n=15} = 0.002710459\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=15} = 3{,}92\%$
	$w_{L/2}^{n=21} = 0.00265625\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=21} = 1{,}96\%$
	$w_{L/2}^{n=49} = 0.002613209\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=49} = 0{,}34\%$

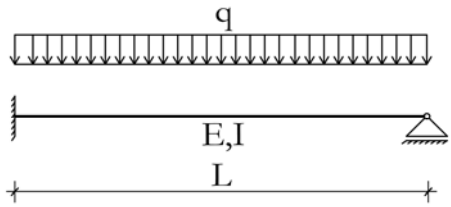
Tabela 3: Ugib konzolne grede

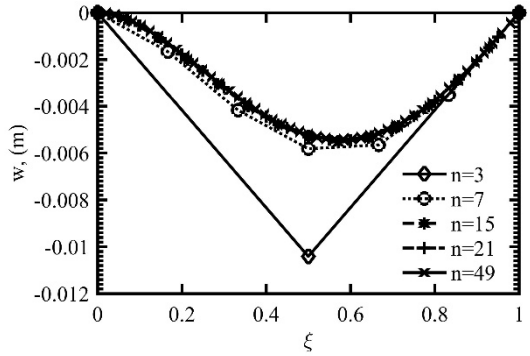




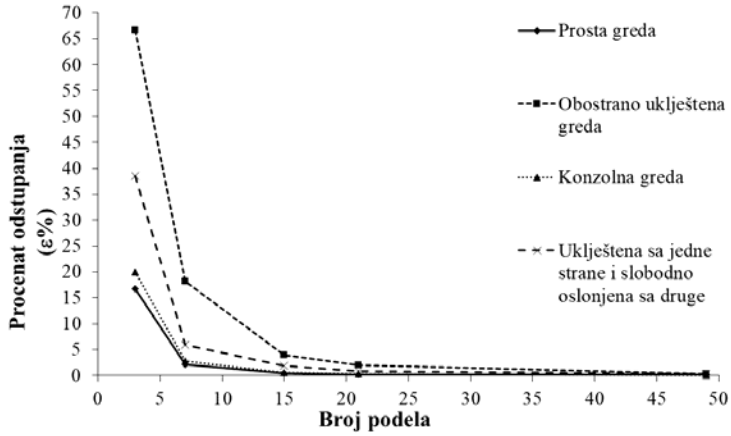
Tačno rešenje:	Približno rešenje:	Greška:
$w_{max} = w_L = \frac{1}{8}\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI} = 0{,}125\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$w_L^{n=3} = 0.15625\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=3} = 20\%$
	$w_L^{n=7} = 0.128472\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=7} = 2{,}70\%$
	$w_L^{n=15} = 0.1256377551\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=15} = 0{,}51\%$
	$w_L^{n=21} = 0.1253125\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=21} = 0{,}25\%$
	$w_L^{n=49} = 0.12505425347\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e_{L/2}^{n=49} = 0{,}04\%$

Tabela 4: Ugib grede koja je sa jedne strane uklještena i slobodno oslonjena sa druge





Tačno rešenje:	Približno rešenje:	Greška:
$w_{max} = w_{0,5785L} = \frac{1}{185}\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI} = 0,0054054\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$w^{n=3}_{0,5785L} = 0,008782\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e^{n=3}_{0,5785L} = 38,45\%$
	$w^{n=7}_{0,5785L} = 0,005742\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e^{n=7}_{0,5785L} = 5,86\%$
	$w^{n=15}_{0,5785L} = 0,005507012\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e^{n=15}_{0,5785L} = 1,85\%$
	$w^{n=21}_{0,5785L} = 0,005447282\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e^{n=21}_{0,5785L} = 0,77\%$
	$w^{n=49}_{0,5785L} = 0,005422559\frac{L^4}{n^4}\frac{q}{EI}$	$e^{n=49}_{0,5785L} = 0,32\%$



Slika4: Prikaz procenta odstupanja u odnosu na analitičko rešenje u funkciji broja podela grede

Sa dijagrama prikazanog na slici 4. uočava se da je greška koja se javlja pri određivanju ugiba ,bez obzira na broj podela, najveća kod obostrano uklještene grede, a najmanja kod proste grede. Uočava se da granični uslovi i broj podela pri korišćenju metode konačnih razlika značajno doprinose veličini odstupanja u odnosu na analitičko rešenje. Za sve gredne nosače sa različitim konturnim uslovima kada je broj podela veći od 15, greška numeričke metode u odnosu na analitičko rešenje je manje od 3%.

5. ZAKLJUČAK

Kao što je prikazano na numeričkim primerima metoda konačnih razlika lako i brzo konvergira ka tačnom rešenju, što je velika prednost same metode. Rešenje konvergira kvadratno, tako da n puta manji korak povlači n^2 puta manju grešku. Na osnovu rezultata prikazanih primera datih u tabelama od 1 do 4, zaključuje se da je veličina greške nije samo funkcija broja podela štapa n (gustine mreže), već i graničnih uslova. Nedostatak ove metode je u tome da povećanjem broja čvorova raste broj linearnih jednačina pri čemu se povećava obim proračuna. Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da je potrebna dalja optimizacija broja podela nosača kao i optimalan izbor razvoja funkcije ugiba u red čime bi došlo do ubrzanja procesa proračuna i povećanja željene tačnosti.

LITERATURA

[1] Al-Azzawi, A. A. (2010). Numerical analysis of thin Beams Resting on Nonlinear Elastic foundations. *Journal of Engineering*, 4695-4706.

[2] Al-Azzawi, A. A. (2011). Analysis of Timoshenko beam resting on nonlinear compressional and frictional Winkler foundation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 100-113.

[3] Courant, R. F. (1928). Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik. *Mathematische Annalen.*, pp. 32–74.

[4] Demirović, B., Požegić, Z., Topalović, M., & Osmirić, N. (2016). Određivanje uticaja po teoriji drugog reda metodom konačnih razlika. *Savremena dostignuća u građevinarstvu*, 341-348.

[5] Despotović, I. (2007). Tehnologija građenja i proračun AB dijafragmi primenom metode konačnih razlika. *Izgradnja*, 247-256.

[6] Dolićanin, C. B., Nikolić, V. B., & Dolićanin, D. (2010). Application of Finite Difference Method to Study of the Phenomenon in the Theory of Thin Plates. *Applied Mathematics, Informatics and mechanics*, 29-43.

[7] Forsythe, G., & Wasow, W. R. (1960). U *Finite difference method for partial differential equations.* Wiley.

[8] Ghods, A., & Mir, M. (2014). Analysis of rectangular thin plates by using finite difference method. *Journal of Novel Applied Sciences*, 260-267.

[9] Han, Z., Wang, H., Shao, Z., Fu, H., Jiang, H., & Wang, W. (2016). Finite difference method–based calculation of gravity deformation curve for the large-span beam of heavy-duty vertical lathe. *Advances in Mechanical Engineering*, 1-8.

[10] Kemonger, M. (1980). Finite difference buckling analysis of non-uniform columns. *Computers & Structures*, 741-748.

[11] Poceski, A. (1999). Numerički Metodi. Skopje: Sveti Kiril i Metodije.

[12] Prskalo, M., & Vrdoljak, A. (2016). Analiza slijeganja temeljnih ploča metodom konačnih razlika. *DAAAM International*, 68-75.

[13] Richtmyer, R., & Morton, K. (1967). Difference Methods for Initial-Value Problems. New York: Inter-science.

[14] Thankane, K., & Styš, T. (2009). Finite Difference Method for Beam Equation with Free Ends Using Mathematica. *SAJPAM*, 61-78.

[15] Zaj, A. (2015). Rešavanje Saint-Venant-ovog momenta torzije metodom konačnih razlika. *Savremena dostignuća u građevinarstu*, 359-365.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ASSESSMENT CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH BY CONVENTIONAL AND SOFT PROGRAMMING TECHNIQUES

DRAGAN BOJOVIĆ[1], LJILJANA LONČAR[2], KSENIJA JANKOVIĆ[3], MARKO STOJANOVIĆ[4]

[1] Institut IMS, dragan.bojovic@institutims.rs
[2] Institut IMS, ljiljana.lončar@institutims.rs
[3] Institut IMS, ksenija.jankovic@institutims.rs
[4] Institut IMS, marko.stojanovic@institutims.rs

Abstract: *Assessment concrete compressive strength is an important issues in ready-mixed concrete industry, especially in proportioning new mixtures and for quality assurance of the produced concrete. Many parameters influence on concrete strength in hardened state. The concrete characteristics that have a significant impact on the strength of concrete is definitely air content. Measure the porosity of fresh concrete is measured by the amount of entrained air. The effect of entrained air in concrete on compressive strength investigated by many authors. On the bases these works we have few equations applicable in practice. Soft programming techniques especially neural networks and the formation of databases related to the testing in laboratories for concrete opened up new approaches in predicting the impact of the quantity of entrained air in concrete on compressive strength. Neural networks provide a strength assessment by considering several characteristics of both fresh and hardened concrete.*

Keywords: *assessment concrete strength, neural networks, porosity.*

1. INTRODUCTION

When having stress applied, the response of concrete depends on the stress type, and on influence that the combination of various factors performs on porosity of the different structural components of concrete. The factors include properties and proportions of materials that are used for concrete mixture design, degree of compaction, and conditions of curing [1]. Regarding the strength, the relationship between water-cement ratio and porosity is the most important factor as, by itself, it affects the porosity of both the cement mortar matrix and the interfacial transition zone between the matrix and the coarse aggregate.

Precise models of predicting concrete strength cannot be developed, as direct determination of porosity of the individual structural components of concrete, the matrix and the interfacial transition zone is impractical [2].

Certain number of empirical relations has been estimated for years; they provide indirect information about the influence of numerous factors on compressive strength (compressive strength is widely used as an index of all other types of strength). Understanding of various factors and their complex interactions is important for understanding the actual response of concrete to applied stress. These factors are usually categorized in three groups: 1. characteristics and proportions of materials, 2. curing conditions, and 3. testing parameters [3]. The selection of proper component materials and their proportions is the first step in concrete mixture design and it provides obtaining the product that would meet the specified strength. Some of the aspects that are important regarding concrete strength are considered here. According to empiric results it should be emphasized that, many mixture design parameters are interdependent and therefore their influences cannot really be separated. Compressive strength depends on concrete components and curing regime. [4]

2. PARAMETERS AND THEIR INFLUENCE ON CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

In 1918, after extensive testing performed at the Lewis Institute, University of Illinois, Duff Abrams concluded that there was a relation between water-cement ratio and concrete strength. Today, this inverse relation is recognized as Abrams' water-cement ratio rule; it is represented by the expression (1) where *w*/*c* represents the water-cement ratio of the concrete mixture and k1 and k2 are empirical constants.

$$f_c = {k_1}\Big/{k_2^{(\frac{w}{c})}} \tag{1}$$

Typical curves illustrating the relationship between water-cement ratio and strength at a given moist curing age are shown in Fig. 1. [2]

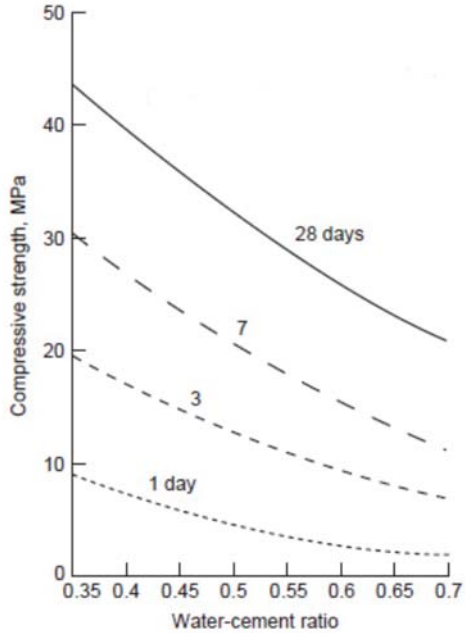


Fig. 1. Influence of the water cement ratio and moist curing age on concrete strength

Following a long line of researchers, Hughes in the 1960s start considered it important to include the effects of air voids when considering strength.

Early attempts to allow for the effects of air voids on strength did not distinguish air voids from water voids and more particularly did not take into account that the quantity of water voids reduced with age due to hydration whereas air voids were less affected. Popovics has discussed this in considerable detail and has separated the effects by the following modification to the historical expression (2) relating strength to water/cement ratio:

$$f_c = \left({k_1}\Big/{k_2^{(\frac{w}{c})}} \right) \times 10^{0.038 \times a} \tag{2}$$

Where *fc* is strength, k_1 is a factor for the cement, k_2 is a composite factor for age at test and for aggregate, γ is 0.038 and *a* is the air content %.

Re-analysis of the data quoted by Popovics, from a Hungarian researcher by Ujhelyi, yielded values of 180 for k_1, 20 for k_2 and confirmed the value of 0.038 for γ [5].

In the view of Popovics, based on assessment of data from other researchers, the formula is valid for entrained air as well as for entrapped air, but this formula does not take into account the difference between entrained and entrapped air in concrete [5].

Teychenne *et al.* adopted a value of 5.5% reduction per 1% air for the design of air entrained concrete. The value of the constant in the formula would need to be modified from –0.038 to –0.025 to accommodate this lower rate of strength reduction.

Thus, a more general expression (3) is proposed for strength as:

$$f_c = \left({k_1}\Big/{k_2^{(\frac{w}{c})}} \right) \times 10^{(X \times a_1 + Y \times a_2)} \tag{3}$$

where *X* is –0.038 for entrapped air, a_1 is the entrapped air content (%), *Y* is –0.015 to –0.038 for entrained air, high values may apply to high percentages of air and in case of doubt and a_2 is the entrained air content (%). Thus is more general formula for compressive strength which considered both entrapped and entrained air.

At a given water-cement ratio, increasing the volume of entrained air influences the compressive strength; this relation is shown by the curves in Fig. 2 [2].

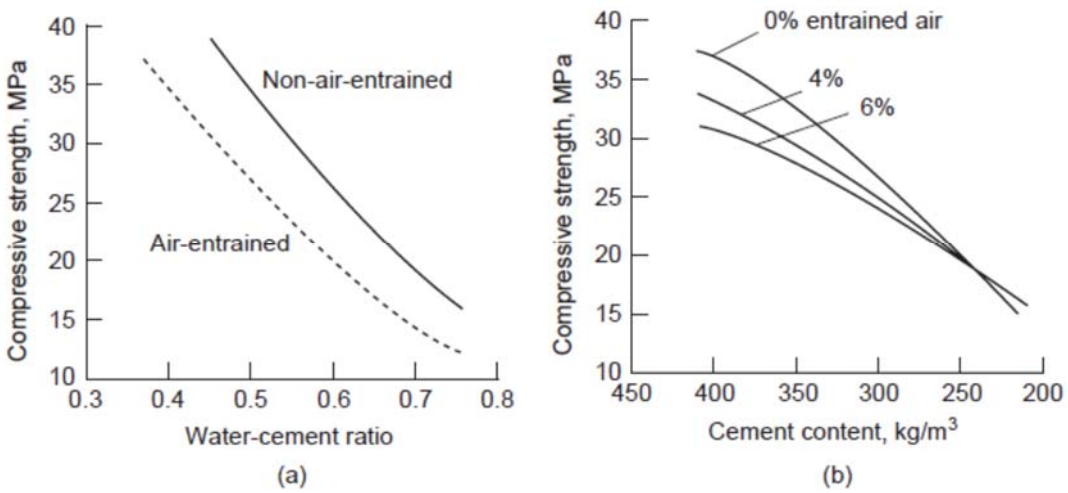


Fig. 2. Influence of the water-cement ratio, entrained air and cement content on concrete strength [2]

For a mean temperature of 20°C and curing in accordance with EN 12390 the compressive strength of concrete at various ages $f_{cm}(t)$ may be estimated with proposed expressions (4) from Eurocode 2:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc} \times f_{cm} \text{ and } \beta_{cc} = e^{s(1-\frac{28}{t})^{0.5}} \text{ where is:} \quad (4)$$

$f_{cm}(t)$ is the mean concrete compressive strength at an age of t days, f_{cm} is the mean compressive strength at 28 days, β_{cc} is a coefficient which depends on the age of the concrete t, t is the age of the concrete in days and s is a coefficient which depends on the type of cement: 0,20 for rapid hardening high strength cements (R), 0,25 for normal and rapid hardening cements (N) and 0,38 for slow hardening cements (S).

3. NEURAL NETWORKS

Neuron is an element with multiple inputs and one output. Artificial neural network are forming of larger number of neurons connecting the outputs and inputs with each other. A number of neurons is in connection of network with the working environment. Input layer of neurons accept information from the environment, while the output neurons generate the signals for certain actions. Other neurons that are not directly related to the environment, are called hidden and used for internal representation of information about the operating environment. In layered networks neurons are organized to form layers, and the input of one neuron are lead to all of neurons from the previous layer. Neurons can be static or dynamic depending on whether the process and time-varying signals.

Each model of neurons are characterized by two functions: a) first gives the dependence of the activation signal from the input signal a function of interaction inputs b) other which define the influence of the activation signal to the output of neurons – activation function. Scheme of a static neuron is shown in Fig 3.

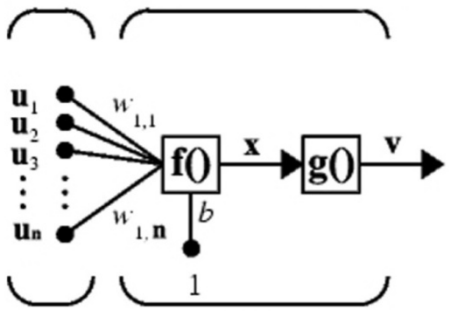


Fig. 3. Sheme of static neuron

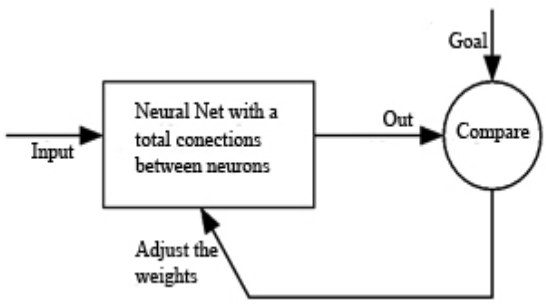


Fig. 4. Behavior of neural networks

Most often used the linear function of the interaction of input with activation signal expressed simply as a linear combination of excitation signals, although their form may be nonlinear or polynomial in order to increase the processing power of neurons.

Besides many different functions of interaction inputs are in use and different activation functions. The simplest is a linear activation function of the form (5) while for solving nonlinear models for the best use is sigmoidal (6) [6].

$$g(x) = x - \theta \quad (5)$$

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-(x-\theta)}} \tag{6}$$

Neural networks are generally set to particular input proceed to the certain output value - target. Fig. 4 shows the general approach of neural networks. The network are set up to compare the output and target value until output data of neural networks do not coincides with the target value. In order to this data matched in some cases a lot of pair input-target is need. This process is called network training.

Model of neuron in the neural network architecture determine how perform the transformation of input data in the output of the network. This transformation can be described as a kind of computation.

Learning of neural network is a modification of behavior based on experience, and in the interaction with the environment that leads to different responses to external impacts. Learning of neural network depends on network architecture, weights, interactions function and the activation functions in neurons. Therefore when the network is established changes are hardly possible. Procedures for learning are divided in two groups: supervised and unsupervised learning.

Each procedure of learning is based on algorithms for learning in which the error function forming which represents a measure of the difference of desired and real response of neural network. There exist two approaches to the formation of the error function the rules based on correcting errors and mechanisms that use gradient rules.

4. EXPERIMENTAL WORK

For mix design of concrete was used the formula of Skremtajeva. Based on this formula was adopted the appropriate water-cement ratio, which obtained on the basis of the required compressive strength of concrete, cement class and quality of aggregates.

After mix design of concrete trial laboratory mix was done. All concretes were made in a mixer with the vertical axis and the planetary mixing concrete in a quantity from 60 to 100l of fresh concrete.

Pre-dried aggregate, cement and water were measured on the same scale. Temperature and humidity are always in the same limits as ensured with air-conditioners. The concrete compacted with vibrator Ø20 mm in the metal molds 15 cm cube. After compacting the molded samples settle for 24 hours under the conditions of mixing concrete and then removed from the mold and kept in water until the moment of testing at temperature from 18 to 22°C.

After the scheduled aging samples are tested on hydraulic presses from 1000 to 3000kN depend on the class of concrete that was expected.

The database was formed based on previous laboratory tests of concrete in the IMS Institute on the period 2013-2015 years. During this period conducted a laboratory trial mix of concrete with cements from 3 different producers from the territory of Serbia. There were 3 types of cement CEM II A/S, CEM II A/M(S-L), CEM II B/M(S-L) and all cements were strength class 42.5. Mass of cement per cubic meter of concrete was in range of 250 to 500 kg. As the aggregate were used in all concretes river aggregate from Serbia.

On each form of trial mix are given the presumed amount of material per cubic meter volume of concrete. Also provide the parameters that are measured during the development of laboratory trial mix tests such as the slump of concrete on Abrams cone, total amount of air, the measured density of fresh concrete, the temperature of the room and the temperature of concrete. A total of 107 previous tests was taken to the processing.

Data processing was performed in two stages. In first stage, database was considered with classical approach given in Eurocode 2 without influence of air content in fresh concrete. In neural network stage, the models with one and with two hidden layers were considered and formed. The common fact for all models is that in the input and output layer, the neurons with linear activation function were used, and in the hidden layers were used the neurons with activation function of hyperbolic tangent (because of very simple derivatives). In the output layer, there was one neuron in all models, because the network output is the compressive strength at the age of 28 days.

Quantitative indicators for determining which approach is better for actual use are (a) standard error deviation – standard deviation of difference between the obtained results of compressive strength and real results of compressive strength ($f_{c,28}$) and (b) accuracy of obtained results at reliability of 95.4% - which is calculated on the basis of standard error deviation. This indicators are presented in Table 1 for classical method and for neural network method. In Fig. 5 and Fig. 6 is provided the relationship of obtained and real results of compressive strength. On the same figures are given the best trend line functions and square correlation factor.

Table 1. Results obtained with different approach

Method	St deviation of error (N/mm^2)	Accuracy at reliability of 95.4% (N/mm2)
Classical	8.8	17.6
Neural Network	4.4	8.8

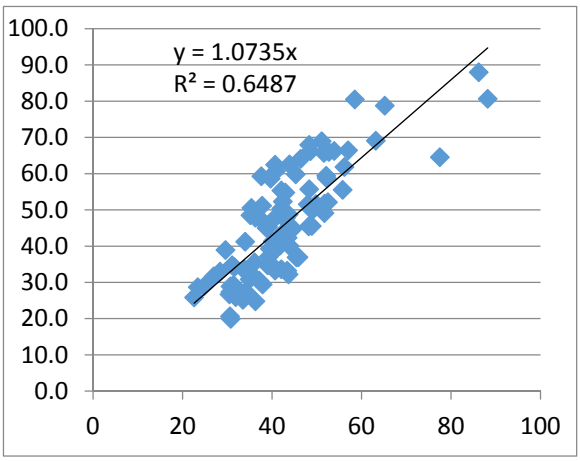


Fig. 5. Classical method

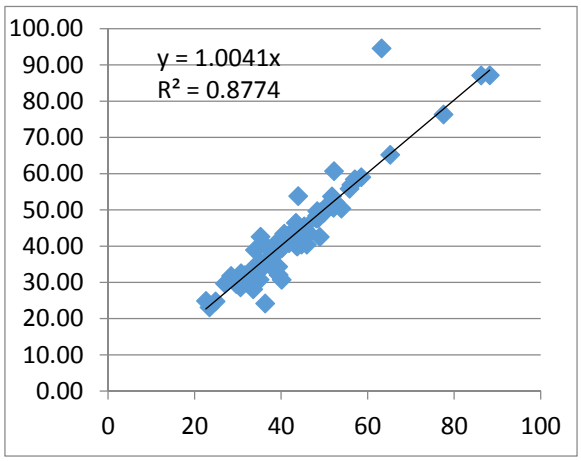


Fig. 6. Neural network method

5. CONCLUSION

It is clear that the neural network approach close to real output and the classical approach with adopted coefficients in many tests is very different. The cause of this deviation in the classical approach may be the inability to use summarization of different types of cements, the use of additives in concrete and porosity according Eurocode 2.

Approach with the neural networks can with a good database to take into account the type of cement and concrete additives in the application. This approach is much simpler, but with the expansion of the number of influential parameters are needed and much larger database.

REFERENCES

[1] Tango S.C.E.: An extrapolation method for compressive strength prediction of hydraulic cement products, Cement and concrete research, Vol. 28, 1998, pp.969-983.Strunk, W., Jr., & White, E.B. (2000). The elements of style. (4th ed.). New York: Longman.

[2] Mehta P.M., Monteiro P.J.M., Concrete, Microstructure, Properties and Materials, McGraw-Hill, 2006.

[3] Newman J., Choo B.S., Advanced concrete technology Concrete properties, Elsevier Ltd, 2003.

[4] Grdic Z., Despotovic I., Ćurcic G.T., Properties of self-compacting concrete with different types of aditive, Facta univerzitates – Architecture and Civil Engineering, Vol 6., No 2, 2008, pp. 173-177

[5] Popovics, S. (1992). Concrete Materials: properties, specifications and testing, Noyes Publications New Jersey, USA.

[6] Knezevic M., Zejak R. (2008) Neural Networks – Application for Usage of Prognostic Model of the Experimental Research for Slender Reinforced-Concrete Columns, Materials and Structures, Vol. 51, No.1, p.41-58, Belgrade YU-ISSN 0543-0798.

2017

PRIMENE OI U MENADŽMENTU

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MODELI I TEHNIKE ISPITIVANJA STAVOVA I ZADOVOLJSTVA POTROŠAČA U FUNKCIJI VEZIVANJA ZA IMIDŽ MALOPRODAJNOG OBJEKTA

MODELS AND TECHNIQUES OF TESTING THE CONSUMER SATISFACTION AND ATTITUDES TO WORK SETTING THE IMAGE OF RETAILERS

RADENKO MARIĆ[1], GORAN VUKMIROVIĆ[2]

[1]Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, radenko.maric@ef.uns.ac.rs
[2]Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, vgoran@ef.uns.ac.rs

Rezime: *U ovom radu se definiše značaj stavova i zadovoljstva potrošača za sektor maloprodaje. Osnovni cilj rada jeste da se definišu načini merenja stavova i zadovoljstva kupaca koako bi se mogla predpostaviti verovatnoća njihove ponovne kupovine i kreiranja odgovarajućeg programa lojalnosti. S obzirom na to da je maloprodavcima stalo da utvrde da li potrošači imaju pozitivne stavove prema njihovim proizvodima, robi i uslugama, razvijeni su brojni modeli i tehnike njihovog merenja prema karakteristikama i atributima samih proizvoda i usluga. U ovom radu ćemo analizirati najznačajnije modele, kao što su: Fišbejnov model, Model nameravanog ponašanja, Teorija rezonske akcije, Model idealne tačke, ACSI i ECSI model satisfakcije. Praktičan značaj ovog rada je što će ukazati menadžmentu maloprodajnih objekata da izaberu najprikladniji način merenja stavova i zadovoljstva potrošača u vlastitim maloprodajnim objektima i da optimiziraju stvoju strateguju lojalnosti u skladu sa dobijenim rezultatima. Predlozi za dalje analize i istraživanja su navedeni u radu.*

Ključne reči: *Maloprodaja, modeli, stavovi potrošača, potrošači, zadovoljstvo.*

Abstract: *This work defines the importance of attitudes and customer satisfaction for the retail sector. The main objective of the paper is to define ways of measuring attitudes and customer satisfaction for their re-purchase and proper the loyalty program. As retailers want to determine whether consumers have positive attitudes towards their products, goods and services, there have been developed numerous models and techniques for their measurement according to the characteristics and attributes of the products and services. In this paper, the most important models will be analyzed, such as: Fishbain model, Model of intended behavior, Theory of reasoned action, Model of ideal point, and ACSI & ECSI model of satisfaction. Practical significance of this work is indicating the management of retailing to choose the most appropriate way of measuring attitudes and customer satisfaction in its own retail stores and to optimize own strategy of loyalty. Suggestions for further analysis and research are specified in the paper.*

Keywords: *Retailing, Models, Customer Attitudes, Customers, Satisfaction.*

1. UVOD

Stavovi se koriste zbog svoje nesumljive pogodnosti da se predvidi buduća tražnja za proizvodima i uslugama preduzeća. Njihovo poznavanje pomaže maloprodavcima da dobiju bolji uvid u stvarna i potencijalna tržišta. Stavovi ukazuju na namere potrošača koje, ako ne dođe do nepredviđenih okolnosti, upućuju na njihovo buduće ponašanje. U trgovini i marketingu, od posebnog značaja je da se utvrdi međuzavisnost stavova i ponašanja potrošača. Merenje stavova potrošača u odnosu na određeni proizvod zavisi od akcije, cilja, vremena i situacije potrošača [1]. Merenje stavova prvenstveno znači sagledavanje verovatnoće *akcije* (kupovine) potrošača. Od specifičnosti *cilja* zavisi uspeh u merenju stava. *Vreme i situacija* bitno opredeljuju merenje uticaja namera odnosno stavova na potencijalno ponašanje. Stavovi mogu biti pozitivni, neutralni i negativni. Pozitivni stavovi povoljno utiču na poslovne rezultate preduzeća. Ukoliko potrošači imaju pozitivan stav prema određenoj marki proizvoda, velika je verovatnoća da će kupiti taj proizvod [2]. Neutralni stavovi odražavaju neke vrste nezainteresovanosti potrošača prema markama proizvoda uopšte, pa prema tome i marki proizvoda konkretnog maloprodajnog preduzeća.

U skladu sa tim, kao i činjenicom da je maloprodajnim preduzećima stalo da utvrde da li potrošači imaju pozitivne stavove prema njihovim proizvodima i/ili maloprodajnim uslugama, razvijeni su brojni modeli i tehnike merenja stavova potrošača prema karakteristikama i atributima proizvoda koji se prodaju. Cilj ovog rada jeste da se analiziraju najčešće korišćeni modeli u literaturi, kao i da se izaberu najoptimalniji.

2. MODELI ZA ISPITIVANJE STAVOVA POTROŠAČA U MALOPRODAJI

U sektoru maloprodaje i marketing istraživanja za merenje stavova potrošača vrlo su popularni i koriste se multiatributivni modeli, koji pretpostavljaju da stav potrošača o određenom proizvodu (robi) zavisi od njihovog verovanja o atributima tog proizvoda. Osnovni multiatributivni modeli zasnivaju se na tri elementa: atributima proizvoda, verovanjima i važnosti određenog atributa za potrošača. Najpoznatiji multiatributivni modeli su: Fišbejnov model, model rezonske akcije, model „idealne tačke“ i model nameravanog ponašanja [3].

Fišbejnov model - pretpostavlja se da se opšti stav potrošača prema konkretnoj marki proizvoda bazira na zbiru seta verovanja o atributima proizvoda izmerenim shodno ocenama tih atributa. Verovanja se formiraju na osnovu informacija prikupljenih neposrednim iskustvom sa određenom markom proizvoda i komunikacijama u vezi toga sa drugim osobama (potrošačima). Algebarski se može izraziti:

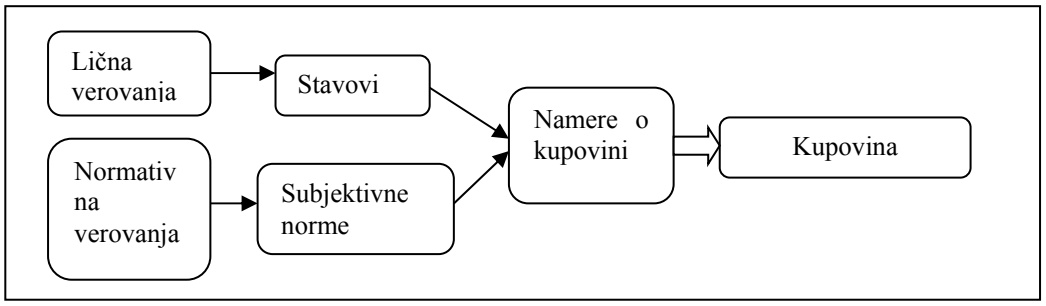
$$A_0 = \sum_{i=1}^{n} b_i * e_i \qquad (1)$$

Gde je: A_0 – opšti stav potrošača prema proizvodu,
b_i – jačina verovanja da proizvod sadrži atribut „i“,
e_i – ocena atributa „i“, n= broj uočljivih atributa

Model eksplicitno inkorporira kognitivnu (verovanje) i afektivnu (ocena) komponentu stava. Takođe uključuje jačinu (intenzitet) ovih elemenata. Ponašanje potrošača, kao treća komponenta stava, rezultat je interakcije ostale dve komponente. Svako verovanje (b_i) potrošača množi se sa njihovom ocenom (e_i) određenog atributa da bi se kao krajnji rezultat dobio stav o proizvodu (b_i*e_i). Model se može razviti u sedmostepenu skalu koja rangira atribute proizvoda od vrlo dobrih do vrlo slabih:

vrlo dobri	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	vrlo slabi

Model rezonske akcije – je novija verzija Fišbejnovog modela naziva se i teorija rezonske akcije (TORA – Theory of Reasond Action). Ovaj model umesto ponašanja uključuje intencije (namere) potrošača, zatim uticaj društvene sredine i stavove potrošača prema kupovini, a ne isključivo prema fizičkim atributima (osobinama) proizvoda. Prema modelu rezonske akcije, važnije je odrediti stav osobe prema kupovini datog proizvoda nego prema fizičkim karakteristikama proizvoda. Polazi se od toga da je čin kupovine ono što određuje satisfakciju potrošača određenom markom proizvoda. U modelu se verovanja definišu sa stanovišta percipiranih posledica (zadovoljstvo / nezadovoljstvo) akcije (kupovine) potrošača. Naredni prikaz (Slika 1) ilustruje model rezonske akcije:



Slika 1: Model rezonske akcije

Model nameravanog ponašanja - pored stavova uključuje i normativnu, subjektivnu komponentu. Izražava se algebarski:

$$B \approx BI = w_1(A_B) + w_2(SN); \quad (2)$$

Gde je:
B = ponašanje,
BI = nameravano ponašanje,
A_B = stav prema ponašanju,
SN = subjektivne norme,
w_1 i w_1 = empirijske vrednosti do kojih se došlo regresivnom analizom.

Ovaj model predpostavlja da stavovi (A_b) i subjektivne norme (SN) ne utiču neposredno na ponašanje potrošača, već se njihov uticaj ispoljava kroz nameru, a koja neposredno određuje ponašanje.

Model idealne tačke - bavi se pribavljanjem informacija o idealnoj marki proizvoda i kako postojeće marke doživljavaju (vide) potrošači u maloprodaji. Algebarski može da se izrazi:

$$A_b = \sum_{i=1}^{n} w_i * (I_i - X_i) \quad (3)$$

Gde je:
A_b- stavovi prema marki „b“,
Wi - značaj atributa „i“,
Ii – idealna performansa atributa „i“,
Xi – verovanje o stvarnoj performansi atributa „i“
n – broj uočljivih atributa proizvoda.

Od potrošača, po ovom modelu, se traži da označe gde se na skali, po njihovoj oceni, nalazi određena marka proizvoda. Ovaj model predstavlja svojevrsni rejting marki proizvoda u zavisnosti od ocene atributa kako ih doživljavaju potrošači. Što je rejting proizvoda (marke) na skali bliže idealnom, to se povećava jačina pozitivnog stava potrošača.

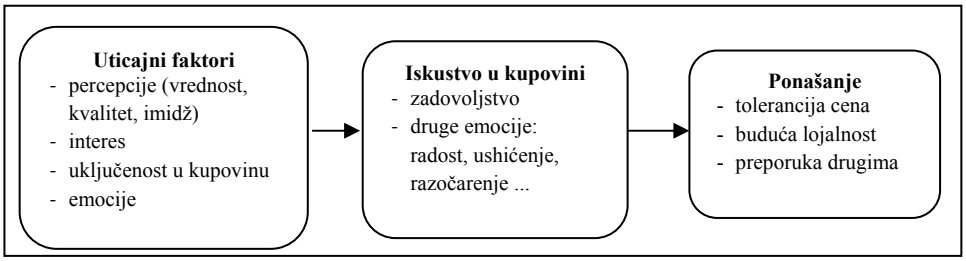
Brojne studije su preduzete sa ciljem da se utvrdi stepen međuzavisnosti stavova i ponašanja potrošača [4, 5]. Opšti zaključak je da stepen u kojem stav utiče na ponašanje potrošača u najvećoj meri zavisi od načina na koji je stav formiran. Stavovi koji su formirani na neposrednom iskustvu imaju mnogo jači uticaj na ponašanje, nego stavovi formirani na posredan način. Maloprodajna preduzeća pokušavaju da različitim marketing strategijama pridobiju i zadrže potrošače svojih proizvoda i usluga. Pri tome poseban značaj imaju strategije kojima se nastoji pojačati pozitivni stavovi potrošača prema markama proizvoda/usluga i time obezbedi njihova lojalnost na dugi rok (CRM). Marketing strategije koje se primenjuju za pojačavanje stavova potrošača su [1]:

1. pojačavanje pozitivnih stavova kod postojećih korisnika (potrošača);
2. privlačenje novih korisnika za postojeću marku (brend) proizvoda i
3. privlačenje novih korisnika za novu marku (brend).

Maloprodajna preduzeća najviše koriste privrednu propagandu kako bi izgradila pozitivan imidž i održala pozitivne stavove potrošača u vezi svojih proizvoda i usluga i na taj način uticala na njihovu lojalnost i dugoročnu profitabilnost.

3. MERENJE ZADOVOLJSTVA POTROŠAČA

U sektoru maloprodaje zadovoljstvo čini polaznu osnovu stvaranja dobrih odnosa sa potrošačima. Zadovoljstvo zavisi od nivoa zadovoljenja potrebe. Uticajni faktori prethode stvaranju iskustva u kupovini i utiču na formiranje tog iskustva. Radi se o prethodno stečenim percepcijama kao što su: percipirana vrednost proizvoda, interesovanje za proizvod ili uslugu i uključenost potrošača u sam proces kupovine. Zadovoljan potrošač utiče na veći promet i profit maloprodajnog objekta. Tri pozitivna efekta zadovoljnog potrošača su: a) troši više tokom procesa kupovine u kojem se dobro oseća; b) daje pozitivne preporuke osobama sa kojima stupa u kontakt i v) vraća se. Model ponašanja u kupovini se može predstaviti na sledeći način:

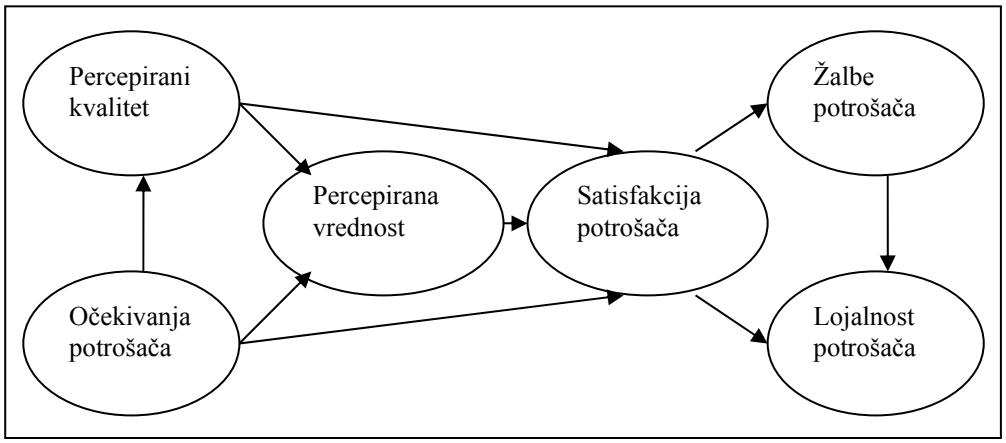


Slika 2. Opšti model uticaja na ponašanje u kupovini [6]

Osnovu ponovnog vraćanja potrošača ili preporučivanja određene prodavnice čine prijatnost i uživanje u kupovini. Pozitivne emocije prethodnih kupovina treba pozitivno da utiču i na buduće kupovine. Pozitivne emocije utiču na odlazak u kupovine, ali isto tako negativne emocije, u slučaju pozitivnih očekivanja, pojačavaju spremnost na odlazak u kupovinu. Zadovoljstvo potrošača može se podići davanjem dve vrste korisnosti: prva kategorija naziva se funkcionalna korist i postiže se upravljanjem proizvodom, tj. paketom ponude (kvalitet, moda, karakteristike proizvoda, ušteda vremena, ušteda novca, itd.). Druga kategorija koristi se postiže unapređenjem odnosa sa kupcima. Istraživanja su pokazala da je lojanost osobi (prodavcu) čvršća nego lojalnost preduzeću ili brendu. Ovde se poseban akcenat stavlja na upravljanje ljudskim resursima kako bi se izgradio pozitivan i prepoznatljiv imidž maloprodajnog preduzeća.

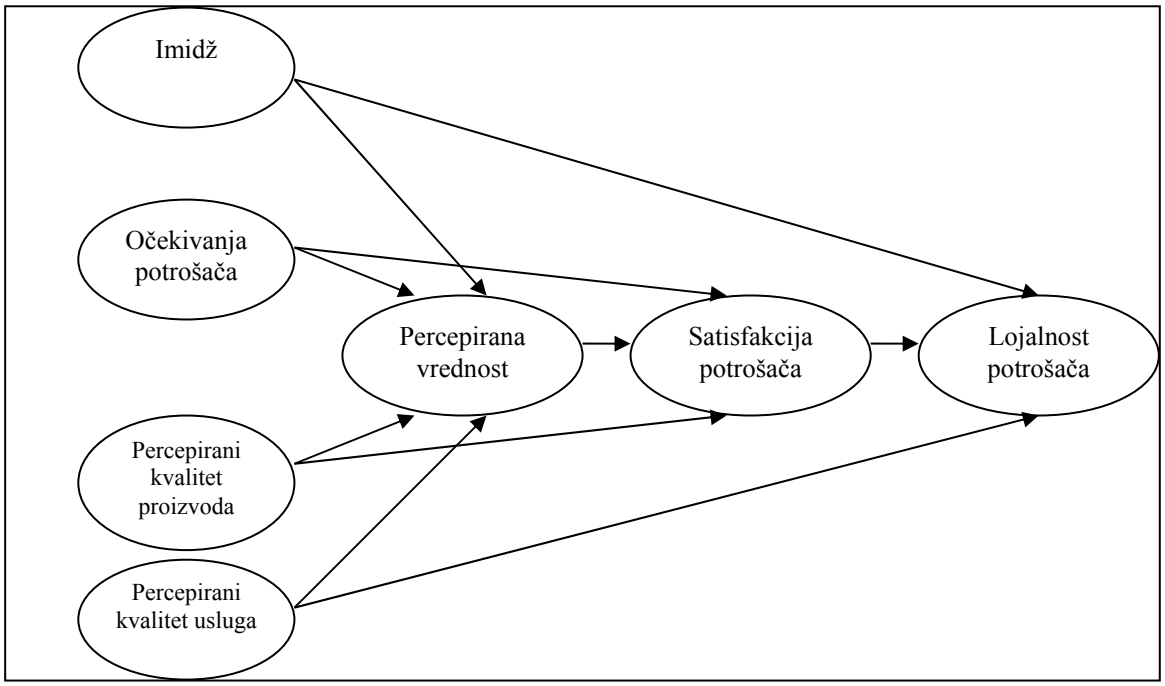
Vrlo je teško na jednom tržištu definisati jedinstven (nacionalni) indeks zadovoljstva potrošača. Na primer, Švedska je prva zemlja koja je uspostavila nacionalni indikator zadovoljstva potrošača. Barometar satisfakcije potrošača CSB je indeks baziran na godišnjim podacima dobijenim od potrošača za oko 100 vodećih kompanija u 30 grana [7]. To je koncept koji omogućuje utvrđivanje nivoa zadovoljstva potrošača na nivou kompanija i grana. Model CSB polazi od toga da je zadovoljstvo potrošača funkcija očekivanja i percepiranog kvaliteta, a lojalnost funkcija zadovoljstva potrošača, *switching* barijera i žalbi, te se na bazi tih polazišta kroz odgovarajući sistem jednačina vrše izračunavanja prema postavljenim ciljevima.

Sa druge strane, Američki indeks zadovoljstva potrošača ACSI predstavlja uniformni sistem procene, poređenja i naposletku poboljšanja zadovoljstva potrošača različitih kompanija, privrednih grana i nacija. Prateći švedski model satisfakcije potrošača, u 1994. godini razvijen je američki indeks zadovoljstva potrošača [8]. Ciljevi ACSI su da obezbedi tačne i razumljive informacije o zadovoljstvu potrošača i da posluži kao indikator ekonomskog uspeha kompanija, grana i nacionalnih ekonomija. Na sledećem grafikonu je prikazan struktuiran model ACSI, sa varijablama i njihovim vezama.



Slika 3. Američki model zadovoljstva finalnih potrošača [8]

Prateći navedena dva modela zadovoljstva potrošača, Evropska organizacija za kvalitet (EQO), Evropska fondacija za upravljanje kvalitetom (EFQM), Evropska akademska mreža za korisnički orijentisanu analizu kvaliteta i Evropska komisija razvile su Evropski indeks satisfakcije potrošača (ECSI). Pilot projekat je obavljen u 12 evropskih zemalja u 1999. Godini [9]. Na narednom grafi;kom prikayu preyentovan je koncipirani model ECSI.



Slika 4. Osnovni ECSI model [10]

Kao što se iz priloženog grafikona sagledava ECSI je struktuiran model od sedam varijabli, koji u suštini povezuje zadovoljstvo potrošača sa njenim determinantama i posledicama. Determinante zadovoljstva potrošača jesu: imidž, očekivanja potrošača, percepirani kvalitet proizvoda i percepirani kvalitet usluge. Na grafikonu su identifikovane osnovne zavisnosti između varijabli, mada postoje i drugačija shvatanja o njihovoj povezanosti. Ovih sedam varijabli se ne mogu direktno meriti, već se mere pomoću dva do šest indikatora, koji se utvrđuju postavljanjem pitanja potrošačima. Zadovoljstvo potrošača se meri putem tri indikatora: Ukupno zadovoljstvo se utvrđuje odgovorom na pitanja: *Uzimajući u obzir celokupno iskustvo sa kompanijom X, koliko ste generalno zadovoljni*? U *kom je stepenu kompanija X ispunila očekivanja*? I *Zamislite kompaniju koja je savršena u svim aspektima. Koliko blizu takvom idealu je kompanija X*? Kombinovanjem ovih pitanja tačnije se izračunava indeks zadovoljstva potrošača. Korišćenje više pitanja uvek daje tačniju procenu u odnosu na samo jedno pitanje. Lojalnost korisnika se operacionalizuje kroz četri indikatora: potrošačeve namere da ponovo kupuje, namere da kupuje druge proizvode i usluge date kompanije, namere da pređe kod konkurenata (cenovna tolerancija), i namere da preporuči brend/kompaniju drugim potrošačima.

Svrha definisanja modela za izračunavanje stavova i zadovoljstva potrošača nije samo u utvrđivanju postojećeg nivoa njihove satisfakcije, već takođe i u uočavanju snaga maloprodavaca i njihovih slabosti koje bi trebalo poboljšati. Ukoliko maloprodajna preduzeća kontinuirano rade na unapređivanju proizvoda ili usluga i obezbeđivanju veće vrednosti za potrošače ona mogu očekivati da će doći do rasta zadovoljstva potrošača, vezivanja za imidž maloprodajnog objekta i posledično profitabilnosti kompanije.

4. VEZIVANJE POTROŠAČA ZA IMIDŽ MALOPRODAJNOG OBJEKTA

Nakod definisanja stava i nivoa zadovoljstva potrošača u sistemu maloprodaje, primenom navedenih modela, uspešno poslovanje od maloprodavca zahteva kreiranje i održavanje konzistentnog imidža. Jednom uspostavljen imidž definiše maloprodaju u sveti i stavu potrošača sa svim funkcionalnim kvalitetima i psihološkim atributima. Potrošač reaguje na karakteristike maloprodaje na emotivan način, tako što pokazuje zadovoljstvo i/ili lojalnost ili, obrnuto, odustaje od ponovne kupovine.

Uprkos i najboljem planiranju imidža maloprodaje, brojni faktori deluju na njegovo očuvanje. Ti faktori uključuju: menadžment i izvršenje pojedinih funkcija od strane zaposlenih, profil potrošača, konkurenciju, parking, lakoću pronalaženja robe, osobenosti područja okruženja maloprodaje, itd.

Atributom atmosfere u maloprodaji stvaraju se psihološki osećaji kod potrošača prilikom posete prodavnici. Svaka prodavnica mora imati planiranu atmosferu koja je usklađena sa ciljnim tržištem i pokreće

potrošača na kupovinu. Utisci o maloprodajni stvaraju se u stavu potrošača već prilikom ulaska u objekat. Atmosfera maloprodaje može da se klasifikuje na više komponenti: eksterijer, opšti enerijer, raspored prodavnice i enterijersko izlaganje.

Veliki broj različitih usluga doprinose kreiranju imidža maloprodajnih sistema i utiče na stav kod potrošača: 1) Primarne usluge čine osnovni obim i sadržaj ukupne ponude maloprodajnog sistema i one se obezbeđuju potrošačima. Ove usluge moraju biti obezbeđene, nasuprot dopunskim uslugama sa kojima se poboljšava konkurentska pozicija maloprodaje. Veoma je bitno da maloprodajni sistemi definišu koje usluge su primarne, a koje dodatne. Nivo usluga potrošača definisan je imidžom maloprodaje. Osnovna svrha usluge je da privuče i zadrži potrošače, što utiče na maksimalizaciju prodaje i ukupnog profita maloprodajnog sistema. 2) Dopunske usluge se ne nude ukoliko ne povećavaju ukupnu prodaju i profit maloprodaje. Planiranje usluga obuhvata donošenje odluka o individualnim uslugama. Tako na primer, velike robne kuće nude pakovanje proizvoda, parkiranje kola, restorane, salone za ulepšavanje, kreditne usluge, prepravke odeće i dr. Danas, većina maloprodajnih sistema omogućava svojim potrošačima kupovine na kredit putem Diners Club, Visa, MasterCard, AmericanExpress, itd. Takođe mnogobrojne specijalizovane prodavnice i robne kuće obavljaju prodaju na kredit. Bitno mesto zauzima i usluga isporuka, kao i pakovanje i obrada primedbi. Probnik kupovina daje se mogućnost kupcima da izvrše probe artikala pre konačne kupovine i time se smanjuje rizik. Ovaj oblik je često zastupljen kod prodaje putem pošte. U cilju povećanja plasmana maloprodajni sistemi nude i specijalne usluge stalnim potrošačima. Kroz ove usluge povećava se zadovoljstvo i lojalnost potrošača. Radi se o sledećim uslugama: produžavanje radnog vremena, mogućnost poručivanja putem pošte ili telefona. Želje maloprodajnih sistema da nude neke ili sve navedene usluge ukazuje kupcima na brigu o njima, a samim tim dolazi do povećanja i ukupnog imidža maloprodaje

6. ZAKLJUČAK

Osnovna svrha sprovedene analize je bila da pokaže koji modeli se smatraju najadekvatnijim za definisanje nivo stava i zadovoljstva potrošača u sektoru maloprodaje. Ističu se četri modela stava: Fišbejnov model, Model rezonske akcije, Model „idealne tačke“ i Model nameravanog ponašanja i dva modela zadovoljstva potrošača: ACSI i ECSI model. Navedeni modeli precizno pokazuju nivo satisfakcije i zadovoljstva kod potrošača proizvodima i uslugama konkretnog maloprodajnog objekta, što pomaže menadžmentu maloprodajnog preduzeća da na bazi dobijenih rezultata otkloni nedostatke, optimizira i unapredi prednosti i time izgradi imidž malopodajnog objekta koji će usmeravati potrošače ka ponovnim kupovinama. Preporuke i sugestije za buduća istraživanja odnose se na empirijsku potvrdu primene navedenih modela u sektoru maloprodaje kroz obimno ispitivanje lojalnih potrošača.

LITERATURA

[1] Maričić, B. (2008). Ponašanje potrošača. Beograd: CID Ekonomskog fakulteta u Beogradu.

[2] Lovreta, S., Končar, J., & Petković, G. (2013). Kanali marketinga, trgovina i ostali kanali. Beograd: Univerzitet u Beogradu.

[3] Novakovic Rajčić, B. (2005). Ponašanje potrošača. Beograd: European University..

[4] Nakić, S. (2014). Područja primene stavova potrošača. Praktični menadžment: stručni časopis za teoriju i praksu menadžmenta, 5(1), 14-21.

[5] Kopić, M, Cerjak, M, Alibašić, H, & Mijatović, B. (2010). Ponašanje potrošača sa aspekta neuromarketinga - emocije, motivi i stavovi. Financing, 4(3), 30 – 40.

[6] Lovreta S., Berman B., Petković G., Veljković S., Crnković J., & Bogetić Z. (2010). Menadžment odnosa sa kupcima. Beograd: Ekonomski fakultet.

[7] Fornell, C. (1992) A National Customer Satisfaction Barometer: The Swedish Experience. Journal of Marketing, 56(1), 6-21.

[8] Anderson W. E., & Fornell C. (2000). Foundations of the American Customer Satisfaction Index. Total Quality Management, 11(7), 869-882.

[9] Aydin, S., ^ Özer, G. (2003). National customer satisfaction indices: an implementation in the Turkish mobile telephone market. Marketing Intelligence&Planning, 23(5), 480-490.

[10] Gremptysetnholdt, L., Martensen, A., & Kristensen, K. (2000). The relationship between customer satisfaction and loyalty: cross-industry differences. Total Quality Management, 11(4/5&6), 509-514.

2017

PRIMENE OI U ODBRANI

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ПРИМЕНА АНАЛИТИЧКОГ ХИЈЕРАРХИЈСКОГ ПРОЦЕСА У СЕЛЕКЦИЈИ ОФИЦИРА ЗА РАД У МЕНАЏМЕНТУ ЉУДСКИХ РЕСУРСА

THE APPLICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN THE SELECTION OF OFFICERS FOR WORK IN HUMAN RESOURCES MANAGEMENT

МИЛАН КОВАЧЕВИЋ[1], БОЈАН КУЗМАНОВИЋ[2], ДЕЈАН НИКОЛИЋ[3]

[1] Управа за обавештајно-извиђачке послове ГШ ВС, Београд, kacaiaca@ptt.rs
[2] Управа за обавештајно-извиђачке послове ГШ ВС, Београд, bojank.kuzma@gmail.com
[3] Гарда, Београд, ana65@ptt.rs

Резиме: *Метода аналитичког хијерархијског процеса (АХП) базирана је на принципима вишекритеријумског одлучивања, при чему се од групе алтернатива бира најповољнија на основу претходно дефинисаних критеријума за одлучивање. Избор лица за постављење на позицију у Одсеку за људске ресурсе представља важну одлуку од које ће зависити и квалитет рада у области тепаџмента људских ресурса. У раду ће бити представљен процес избора најбољег кандидата за постављење на дужност референта у Одсеку за људске ресурсе применом методе аналитичког хијерархијског процеса (АХП).*

Кључне речи: *људски ресурси, селекција, одлучивање, аналитички хијерархијски процес (АХП), критеријуми.*

Abstract: *The method of Analytic Hierarchy Process (AHP) is based on the principles of multi-criteria decision-making. The most favourable alternative is chosen from a group according to pre-defined decision-making criteria. The selection of persons for appointment to a post in the Human Resources Section represents a very important decision, which affects the quality of work in the field of human resources management. This paper presents the process of selection of the best candidate for appointment to a post of a desk officer in the Human Resources Section by application of Analytic Hierarchy Process (AHP) method..*

Keywords: *human resources, selection, decision-making, Analytic Hierarchy Process (AHP), criteria.*

1. УВОД

Циљ рада је решавање вишекритеријумског проблема одлучивања у области управљања људским ресурсима, односно у активности селекције кандидата за постављење на дужност референта у Одсеку за људске ресурсе применом методе Аналитичког хијерархијског процеса (AHP). У раду ћемо показати на који начин се може применити метода аналитичко хијерархијског процеса у области управљања људским ресурсима у Војсци Србије, где ће се кроз хијерархијску поставку и декомпозицију проблема утврдити кључни критеријуми за избор најбоље алтернативе – односно најбољег кандидата за рад у Одсеку за људске ресурсе.

Вишекритеријумска анализа је погодна за примену у селекцији јер селекција представља избор једне од могућих алтернатива које задовољавају критеријуме утврђене за циљ. Метода аналитичко хијерархијског процеса примењена је у конкретном случају избора јер пружа могућност интеграције квантитативних и квалитативних фактора у одлучивању, а такође је погодна за примену у групном одлучивању. Правилан избор критеријума и подкритеријума и правилно оцењивање – рангирање критеријума и подкритеријума, при чему сваком треба доделити одговарајући значај – тежину, кључни су кораци у формирању модела који ће пружити могућност доносиоцу одлуке знатно лакше реализује избор најбољег кандидата и да се време за доношење одлуке битно скрати и умањи могућност доношења неадекватне одлуке.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Стратешка улога менаџмента људских ресурса извире из једноставног сазнања да за сваку посебну стратегију организације треба пројектовати одговарајућу стратегију људских ресурса, а запослени постају извор конкурентске предности само ако се улаже у њихов развој и ако су успешно вођени. У Војсци Србије још увек није у потпуности препознат значај управљања људским ресурсима те се и даље позиције из оквира активности УЉР попуњавају без улагања потребне пажње и сматрајући се да за тај посао нису потребне превелике компетенције. Производ наведеног начина посматрања запослених у области УЉР су следеће последице:

- Позиције у органима за ЉР попуњавају се временом неперспективним и мање способним кадром (углавном су елементи на основу којих се утврђује висина плате најнижи у одсецима-одељењима за људске ресурсе),
- За постављења у органима за ЉР не постоје прописани критеријуми и није развијена адекватна обука,
- У органе за ЉР распоређују се исувише млади и неискусни официри чина потпоручник-поручник,
- УЉР се и даље посматра као бирократски посао и сервис командовања.

Процес селекције разликује се од организације до организације, а и у оквиру исте организације разликују се поступци који се користе у селекцији у зависности од конкретног радног места, која ће се метода и техника користити при селекцији односно избору зависи пре свега од конкретног посла који кандидат треба да обавља. Избор који се врши у току селекције је сложен процес који захтева знање и способност лица која врше селекцију. Пракса показује да што су виши трошкови селекције (односно што се више труда, времена и знања утроши), то су нижи трошкови по запосленом након избора и запошљавања, јер се квалитетним поступком селекције запошљавају људи који су у потребној мери способни и квалификовани за рад, мотивисани, посвећени и који имају реална очекивања, те могу да пруже оно што организација од њих тражи и очекује.

Да би дошли до ваљане одлуке приликом процеса селекције, критеријуми по којима ценимо кандидате морају бити потпуно јасни, јасност критеријума битна је и за правилан избор и процедуре и начина селекције. Критеријуми селекције се најчешће јављају у облику спецификације, односно описа особе која представља идеалног кандидата. Селекција је у суштини покушај организације да предвиди – процени који ће кандидат бити успешан у обављању посла, наравно по оним критеријумима које организација примењује када оцењује запослене (Robbins and Coulter 2005).

За реализацију избора лица за постављење за рад у Одсеку за људске ресурсе (извршилачка позиција – референт) пројектовано је 7 критеријума (при чему три критеријума има подкритеријуме-Слика 1) на основу којих се упоређују-вреднују алтернативе односно кандидати за постављење.

Слика 1: Графички приказ структуре проблема

Одређење значења критеријума и подкритеријума:

- **К1:Психофизичка способност** (к11: здравствено стање-здрав и способан без ограничења или ограничено способан за одређене дужности и активности, к12:психолошки капацитет-оцена са психолошке процене којом се лица разврставају у 5 категорија и процена трупног психолога), к13:физичка припремљеност (оцена са провере физичке способности, процена претпостављеног о физичкој спремности на основу обуке и спортских активности), к14:мотивација (општа мотивисаност, мотивисаност за рад и учење, мотивисаност за промену радног места).
- **К2:Оцене** (к21:просечна оцена са Војне академије или факултета, к22: службене оцене, просечна службена оцена (официр се оцењује редовно сваке друге године и за 7-8 година службе има 4-5 оцена), к23: оцене са курсева, провера и контрола, израде задатака и семинара).
- **К3:Техничке вештине** (к31:познавање информационих система, познавање ИС и ИТ уопште – као предиктор даље могућности рада са ИС за људске ресурсе, к32:страни језици, ниво познавања страног језика, процењује се на основу критеријума који важи за упућивање на школовања-усавршавања, к33: знања из области УЉР, радно искуство у области УЉР, завршени курсеви и семинари из области УЉР, познавање закона и прописа).
- **К4:Прецизност** (особина да се потпуно и тачно извршавају радни задаци, израда докумената и прорачуна без логичких и техничких грешака или са минималним бројем грешака.
- **К5:Лидерство** (умешност у командовању, способност да га потчињени и сарадници следе у реализацији задатака и замисли).
- **К6:Комуникативност** (способност јасног вербалног изражавања мисли и идеја, комуницирање и контакт са сарадницима и странкама).
- **К7:Тимски рад** (способност уклапања у радни тим и реализације задатака ради успеха тима-групе, адекватна сарадња са члановима тима, способност да се позитивно и синергетски делује на тим).

Алтернативе - кандидати за постављење су: А1:Командир вода, капетан, 30 година, А2:Начелник Групе за људске ресурсе у батаљону, капетан, 35 година, А3:Командир вода, потпоручник, 24 године, А4:Командир вода, поручник, 27 година.

3. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА

У случају потребе да се донесе одлука о избору једног од више могућих решења неког проблема, потребно је применити један од модела вишекритеријумског одлучивања при чему се бира једно од више могућих алтернативних решења за која су постављени одређени циљеви. Вишекритеријумско одлучивање (ВКО) је једна од најпознатијих грана у одлучивању.

Аналитички хијерархијски процес (АХП) је метода која се користи у области вишекритеријумског одлучивања, а развио је почетком седамдесетих година Thomas L. Saaty. Метода представља алат који се користи у анализи одлучивања креиран да пружи помоћ доносиоцима одлуке у решавању комплексних питања проблема одлучивања у којима учествује већи број доносиоца одлука, већи број критеријума и у вишеструким временским периодима (Чупић и Сукновић 2010). Метода се заснива на концепту баланса који се користи за одређивање свеукупне релативне значајности скупа критеријума, а односи се на анализирани проблем одлучивања. Процес моделирања захтева четири фазе:

- Структурирање проблема.
- Прикупљање података.
- Одређивање релативних тежина.
- Одређивање решења проблема.

Поређење атрибута се врше у складу са аксиомима на којима се АХП заснива и који су дефинисани на следећи начин (Памучар 2016):

- Аксиом реципрочности: ако је елеменат А за n пута значајнији од елемента Б, тада је елемент Б за n/1пута значајнији од елемента А.
- Аксиом хомогености: Поређење има смисла једино ако су елементи упоредиви,
- Аксиом зависности: Дозвољено је поређење међу групом елемената једног нивоа у односу на елемент вишег нивоа, односно поређења нанижем нивоу зависе од елемената вишег нивоа,
- Аксиом очекивања: Свака промена у сруктури хијерархије захтева поновно рачунање приоритета у новој хијерархији.

Поређење се врши за сваки пар атрибута једног хијерархијског нивоа за дате атрибуте следећег вишег хијерархијског нивоа и процес се понавља за све нивое хијерархије, при чему се у процени користи скала са девет-тачака за додељивање тежина (Табела 1).

Табела 1: Скала девет тачака.

Стандардне вредности	Дефиниција	Инверзне вредности
1	Исти значај	1
3	Слаба доминантност	1/3
5	Јака доминантност	1/5
7	Врло јака доминантност	1/7
9	Апсолутна доминантност	1/9
2,4,6,8	Међувредности	1/2, 1/4, 1/6, 1/8

АХП метода има могућност да идентификује и неконзистентност доносиоца одлука у процесу вредновања алтернатива у хијерархији мерењем степена конзистентности. Степен конзистентности (CR), израчунава се према следећим релацијама:

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1} \tag{1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

где λ_{max} представља максималну сопствена вредност матрице поређења, а RI случајни индекс и зависи од реда матрице, преузима се из Табеле 2, у којој први ред представља ред матрице поређења, а други случајне индексе. Ако је степен конзистнтности мањи од 0,1 резултат је довољно тачан, у супротном морају се вршити корекције у поређењима и поновити прорачуни док се не добије захтевана вредност.

Табела 2: Вредности случајног индекса R.I. (Saaty)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

4. ОДРЕЂЕЊЕ РЕШЕЊА ПРОБЛЕМА

Коришћењем скале девет тачака (Табела 1) извршено је упоређивање значаја критеријума, резултати поређења критеријума сваког са сваким дефинисани су проценом стручњака за људске ресурсе, а затим су у Табелу 3 унете стварне вредности преференција једног критеријума у односу на други (К1К3:0,2=1/5).

Табела 3:Поређење парова по критеријума

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1	0,50	0,20	0,33	1	1	0,25
K2	2	1	0,33	0,50	2	3	0,50
K3	5	3	1	3	4	5	2
K4	3	2	0,33	1	3	4	2
K5	1	0,50	0,25	0,33	1	1	0,33
K6	1	0,33	0,20	0,25	1	1	0,33
K7	4	2	0,50	0,50	3	3	1
Σ	17,03	9,36	2,81	5,91	15,03	18,03	6,41

Табела 4:Важност критеријума у моделу

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	suma	Wi
K1	0,0587	0,0534	0,0711	0,0558	0,0665	0,0555	0,0390	0,400	0,0571
K2	0,1174	0,1068	0,1173	0,0846	0,1331	0,1664	0,0780	0,803	0,1148
K3	0,2936	0,3236	0,3555	0,5073	0,2661	0,2773	0,3120	2,335	0,3336
K4	0,1779	0,2136	0,1185	0,1691	0,1996	0,2218	0,3120	1,412	0,2018
K5	0,0587	0,0534	0,0889	0,0564	0,0665	0,0555	0,0515	0,430	0,0615
K6	0,0587	0,0356	0,0711	0,0423	0,0665	0,0555	0,0515	0,381	0,0545
K7	0,2349	0,2136	0,1777	0,0846	0,2016	0,1681	0,1560	1,236	0,1766

Методом адитивне нормализације одређен је вектор приоритета (Wi) при чему се суме елемената матрице по колонама (из Табеле 3), поделе са елементима сваке колоне и добија се вредност у Табели 4 (нпр. К1К2:0,50/9,3636=0,0534). Затим је одређена сума елемената по редовима и средња вредност подељена са укупним бројем критеријума (у нашем случају – 7) и добијен је вектор приоритета по критеријумима (нпр. за К1: 0,400/7=0,0571).

Ради израчунавања степена конзистентности CR рачуна се вредност максималне сопствене вредности матрице поређења (λmax) множењем матрице у којој се налазе резултати поређења (Табела 3) са вектором тежинских приоритета Wi (Табела 4) и добијају се резултати приказани у Табели 5 (нпр. К1К3: 0,2x0,3336=0,0667).

Табела 5:Вектори тежинских коефицијената

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	λ
K1	0,0571	0,0574	0,0667	0,0666	0,0615	0,0545	0,0442	7,1401
K2	0,1143	0,1148	0,1101	0,1009	0,1231	0,1634	0,0883	7,0985
K3	0,2857	0,3479	0,3336	0,6054	0,2462	0,2723	0,3533	7,3263
K4	0,1732	0,2296	0,1112	0,2018	0,1846	0,2178	0,3533	7,2918
K5	0,0571	0,0574	0,0834	0,0673	0,0615	0,0545	0,0583	7,1410
K6	0,0571	0,0383	0,0667	0,0504	0,0615	0,0545	0,0583	7,1049
K7	0,2286	0,2296	0,1668	0,1009	0,1865	0,1650	0,1766	7,0996

Степен конзистентности (CR) се рачуна коришћењем израза (1) и (2) и у конкретном случају износи: CR=CI/RI=0,0286/1,32=0,0217<0,1 што показује да је оцењивач конзистентно и исправно извршио поређење критеријума. У следећем кораку врши се процена приоритета алтернатива у односу на сваки појединачни критеријум од К11 до К7. Табела 6 приказује процене стручњака за људске ресурсе у односу на критеријум К12. За све процене приоритета алтернатива на описан начин је извршено израчунавање вектора приоритета и индекса конзистентности.

Табела 6:Поређење алтернатива по критеријуму К12

K12	A1	A2	A3	A4	Wi	λ
A1	1	3	0,33	1	0,223	4,098
A2	0,33	1	0,33	0,5	0,109	4,034
A3	3	3	1	2	0,452	4,183
A4	1	2	0,5	1	0,215	4,100

(K12) λ max = 4,104; CI = 0,035; CR= 0,038<0,1;

У следећем кораку извршено је вредновање подкритеријума у оквиру критеријума К1, К2 и К3. Резултати за К1 приказани су у Табели 7. На основу извршеног вредновања добијене су тежине подкритеријума.

Табела 7:Поређење подкритеријума

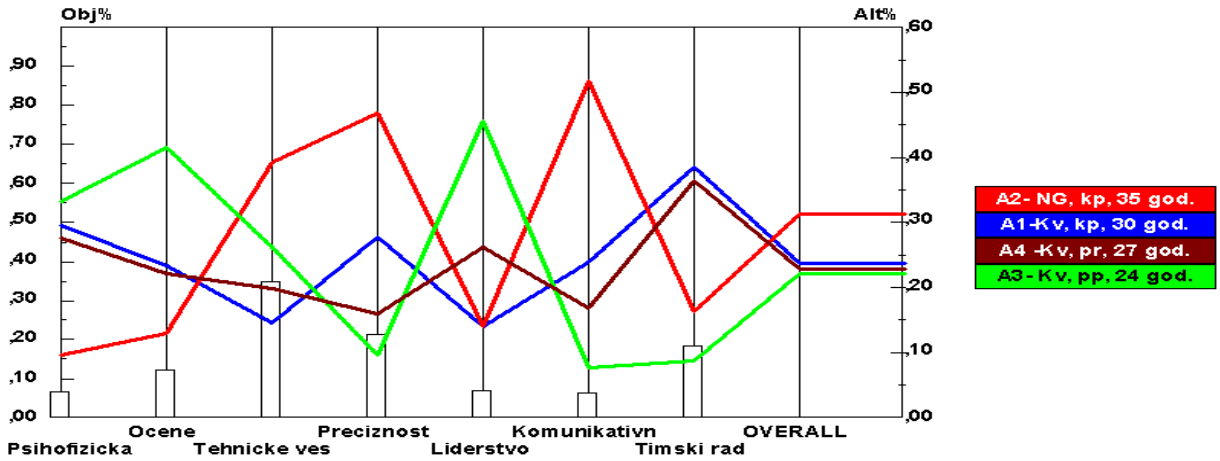
K1	K11	K12	K13	K14	suma	Wi	λ
K11	1	0,20	0,50	0,14	0,248	**0,062**	4,1249
K12	5	1	5	0,50	1,403	0,351	4,2090
K13	2	0,20	1	0,33	0,463	0,116	4,0206
K14	7	2	3	1	1,886	0,471	4,1736

(K1) λ max = 4,132; CI = 0,044; CR= 0,005<0,1;

Множењем добијених тежина подкритеријума за критеријум К11 са тежинама К11-К14 из Табеле 7 (нпр. за К11:0,0571x0,062=0,0035) добија се нормализована тежина подкритеријума К11(0,0035) која је приказана у Табели 8. На исти начин утврђене су нормализоване тежине свих подкритеријума. Добијене вредности нормализованих тежина подкритеријума множе се са тежинама алтернатива и добијају се коначни резултати (нпр. за колону матрице А1К11: 0035x0,2535=0,0009). Сабирањем добијених вредности за алтернативе по свих 14 критеријума (К11 до К7) добијамо и коначни резултат који показује да је најбољи кандидат А2 (0,330), затим А1(0,235), А4(0,229) и А3 (0.206). Резултати су проверени и у програму Expert Choice, (Слика 2) при чему се коначни избор алтернативе А2 показао стабилним решењем и приликом знатних промена тежина критеријума.

Табела 8:Коначни ранг алтернатива (са приказаним тежинама свих критеријумима)

Критеријум	Психофизичка способност				Оцене			Техничке вештине			Прецизност	Лидерство	Комуникативност	Тимски рад	Тежина Алтернативе	Ранг
	K11	K12	K13	K14	K21	K22	K23	K31	K32	K33	K4	K5	K6	K7		
(Wi)	0,0035	0,0200	0,0066	0,0269	0,0640	0,0368	0,0141	0,0876	0,0262	0,2198	0,2018	0,0615	0,0545	0,1766		
A1	0,0009	0,0045	0,0014	0,0101	0,0186	0,0062	0,0021	0,0137	0,0057	0,0267	0,0559	0,0087	0,0129	0,0677	0,235	2
A2	0,0002	0,0022	0,0003	0,0027	0,0065	0,0044	0,0042	0,0077	0,0028	0,1392	0,0940	0,0087	0,0279	0,0292	**0,330**	**1**
A3	0,0013	0,0091	0,0025	0,0061	0,0320	0,0095	0,0059	0,0423	0,0128	0,0168	0,0194	0,0281	0,0042	0,0158	0,206	4
A4	0,0011	0,0043	0,0025	0,0080	0,0069	0,0166	0,0020	0,0238	0,0050	0,0371	0,0325	0,0162	0,0094	0,0640	0,229	3



Слика 2: Приказ решења у програму Expert-Choice

5. ЗАКЉУЧАК

АХП метода вишекритеријумског одлучивања доприноси квалитетном избору лица за рад у области људских ресурса и може се користити као подршка доносиоцу одлуке при избору лица за постављење за рад у Одсеку за људске ресурсе (референт – извршилачка дужност). У раду је примењен модел на три хијерархијска нивоа који вреднује кандидате у односу на 14 различитих критеријума и који је показао да је најбољи кандидат А2. Избор коришћених критеријума базиран је на оцени стручњака из области људских ресурса и искуствима из ове области. Реалност процене потврђена је конзистентним оцењивањем, све матрице вредновања алтернатива - критеријума су са дозвољеним степеном конзистенције (од 0.004 до 0,044<0,1), а изабрано решење показало се као стабилно и приликом знатних промена тежине критеријума коришћењем програма Expert-Choice.

Приказани модел потребно је у наредним истраживањима проширити увођењем „организационих“ критеријума који се у пракси при одлучивању увек узимају у обзир и односе се на питања сукцесије (планираног померања других лица по хоризонтали и вертикали, замењивости, значаја равномерне попуне органа - јединице, као и самог значаја јединице у којој се попуна врши) као и личних жеља и циљева кандидата и њихове мотивације (питања испуњења личних циљева: за напредовањем, жеља или противљење премештају, промена типа каријере и могућности каријерних усавршавања). Коришћење приказаног модела може омогућити да се убрза процес и умањи субјективност доносиоца одлуке приликом избора лица.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Чупић, М., Сукновић, М. Одлучивање, Факултет организационих наука, Београд, 2010,

[2] Памучар Д, Операциона истраживања уџбеник, Војна академија, Београд 2016,

[3] Robbins S., Coulter M.: Менаџмент, Београд, Дата статус, 2005,

[4] Saaty T.L.: Analytic hierarchy process. McGrawHill, New York, 1980,

[5] http://odlucivanje.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/Expert-Choice.pdf.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

УТВРЂИВАЊЕ КРИТЕРИЈУМА ЗА ИЗБОР ОПЦИЈЕ РАЗВОЈА СПОСОБНОСТИ ВОЈСКЕ

DETERMINATION OF CRITERIA FOR SELECTION OF MILITARY CAPABILITIES DEVELOPMENT OPTIONS

ВЛАДА МИТИЋ[1], СРЂАН ДИМИЋ[2]

[1] Министарство одбране Републике Србије, Београд, vlada.mitic@mod.gov.rs
[2] Министарство одбране Републике Србије, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs

Резиме: *Планирање развоја војске представља процес одређивања циљева развоја и начина њиховог остварења. Резултат тог процеса јесу документа планирања развоја. У литератури постоји више различитих приступа планирању развоја који су развијени за потребе одбране или су преузети из цивилног сектора. Један од најзначајнијих приступа јесте планирање развоја засновано на способностима. С обзиром на значај фазе избора опције развоја у моделу планирања развоја заснованог на способностима, у раду су предложени критеријуми и подкритеријуми за избор опције развоја способности, а затим су утврђене и њихове релативне тежине.*

Кључне речи: *Планирање развоја, способности, опције развоја, критеријуми избора опција.*

Abstract: *Development Planning of the military organization is the process of determination of development objectives and ways of their realization. The result of this process are the development planning document. In the literature, there are several different approaches of development planning process which have been developed for defense purposes or are taken from the commercial sector. One of the most significant approach is capability based development planning approach. Considering the significance of phases of development options selection within a capability based development planning process, the authors suggested criteria and sub-criteria for the selection of capabilities development options. At the end, relative weights of suggested criteria and sub-criteria are determined.*

Keywords: *Development planning, capability, development options, development options criteria.*

1. УВОД

Планирање развоја система одбране представља процес којим се утврђују циљеви система одбране и изналазе најповољнији начини њихове реализације, односно стварају услови да систем одбране поседује потребне снаге, опрему, инфраструктуру и способности за извршавање додељених мисија и задатака у оквиру утврђеног концепта одбране.

Постоји више различитих приступа планирању развоја који су развијени за потребе одбране или су преузети из цивилног сектора. Сваки од приступа има и предности и недостатака због чега се врло ретко примењује само један приступ. Један од најзначајнијих приступа за систем одбране јесте планирање развоја засновано на способностима.

У литератури је присутно више модела процеса планирања развоја заснованог на способностима. Један од тих приступа разматран је у овом раду. С обзиром на ограничен обим рада, разматрана је само фаза избора опције развоја способности, односно утврђивање критеријума на основу којих се врши избор оптималне опције.

У раду су, на основу анализе садржаја различите литературе, прво предложени критеријуми за избор опције развоја способности, а затим су, применом софтвера Expert Choice, утврђене и релативне тежине критеријума и подкритеријума.

2. ОПЦИЈЕ РАЗВОЈА СПОСОБНОСТИ

Према моделу приказаном у [1] процес планирања развоја заснован на способностима започиње проценом окружења, којом се идентификују могуће претње на које систем одбране треба да одговори. У наредној фази процеса развијају се могући сценарији као одговор на идентификоване претње

којима се утврђују и потребне способности. Листа идентификованих потребних способности, која се добија у претходној фази, представља основу за утврђивање разлике између потребних и постојећих способности. На крају процеса развијају се могући начини за превазилажење утврђених разлика у способностима.

Анализом модела процеса планирања развоја заснованог на способностима могу се издвојити три велике целине, и то:

- окружење (шта систем одбране треба да ради),
- способности (на који начин ће систем одбране одговорити окружењу) и
- опције (којим средствима ће систем одбране достићи потребне способности).

Опције развоја представљају могућа решења за превазилажење разлике у способностима, а састоје се из скупа мера које је потребно предузети како би се достигле потребне способности. У складу са тим, свака развијена опција треба да представља потпуно решење за превазилажење разлике у способностима.

Мере које се предузимају за достизање потребних способности најчешће су груписане у чиниоце способности. Чиниоци способности варирају зависно од државе, али су у суштини слични. У систему одбране Републике Србије чиниоци способности су [2]: Стратегија и доктрина, Организација, Кадрови, Образовање, Обука, Наоружање и војна опрема, Инфраструктура и Интероперабилност.

Према [3; 4] мере у оквиру чинилаца способности најчешће су груписане у две категорије: материјалне и нематеријалне. Материјалне мере су оне које се претежно односе на набавке и захтевају значајна финансијска средства (нпр. набавка наоружања и војне опреме), док нематеријалне мере не захтевају или захтевају знатно мања финансијска средства (нпр. мере у оквиру Доктрине, Обуке итд.). Приликом разраде опција развоја способности прво се испитују могућности превазилажења разлика у способностима нематеријалним мерама, а затим, ако се разлика не може превазићи нематеријални мерама, разматрају материјалне мере [5]. На овај начин смањује се укупан број опција развоја способности на оне које захтевају најмање финансијских средстава. Од укупног броја развијених опција, у наредној фази врши се избор оптималне опције развоја способности.

3. КРИТЕРИЈУМИ ЗА ИЗБОР ОПЦИЈЕ РАЗВОЈА СПОСОБНОСТИ

Први корак у избору оптималне опције развоја јесте утврђивање релевантних критеријума на основу којих ће се вршити рангирање опција. Анализом садржаја различите литературе прикупљени су подаци о критеријумима на основу којих се може вршити рангирање опција развоја. Резултати анализе садржаја приказани су у табели 1.

Табела 1: Преглед критеријума избора опција развоја способности

Називи критеријума у литератури и пракси	Извор
Степен задовољења критеријума способности	[3; 5; 6; 7; 8; 9]
Ризик неизгардње способности	[3; 5; 10]
Трошкови опције	[3; 5; 6; 7; 8; 9; 11]
Дугорочност опције	[5; 8; 9]
Вероватноћа (сценарија, догађаја)	[10; 11]
Последице (сценарија, догађаја)	[10]
Специфичности претње	[3; 11]
Разлика између ефеката који су потребни и ефеката који се постижу	[3; 8]
Допринос ефеката остварењу циља	[3]
Опција утиче на главне способности	[3]
Потребно време имплементације	[3]
Постојање логистичких капацитета	[3; 6; 7; 8; 9]
Компатибилност са другом опремом у војсци	[3; 6; 7; 8; 9]
Постојање организацијских капацитета	[3; 6; 7; 8; 9]
Постојање обученог људства и система обуке	[3; 6; 7; 8; 9]
Постојање инфраструктурних капацитета	[3; 6; 7; 8; 9]
Релевантност за оперативни концепт и постојећу доктрину	[3; 6]
Постојање безбедносних, здравствених и еколошких ограничења	[3; 6]

Називи критеријума у литератури и пракси	Извор
Могућност занављања, ремонта	[3]
Интероперабилност	[3; 6; 7; 9]
Постојање политичких и правних ограничења	[3; 6; 7]
Технички ризици - отказа	[6; 7]
Могућности властите индустрије	[6; 9]
Ризик кашњења пројекта	[6; 7]
Капацитет способности	[7]
Број способности које одређена опција задовољава	[8]
Дисперзивност услова	[9]
Технолошка спремност	[9]
Значај задатка за остваривање ефеката	[5; 10; 11]
Субординантне способности	[11]
Степен утицаја на друге способности	предлог аутора рада

У литератури су присутна три погледа која опредељују избор опције развоја способности, а односе се на архитектуру војног система [9]. Први је оперативни поглед којим се одређује шта треба да се испуни и ко то треба да ради. Други поглед је системски и односи се на саму војну организацију и карактеристике оперативних потреба, док је трећи поглед техничке природе и односи се на стандарде. Узимајући у обзир наведену архитектуру војног организационог система, као и карактеристике процеса планирања заснованог на способностима, критеријуми избора опција за развој способности могу се класификовати у три категорије критеријума, и то: сценарија (окружења), способности и опције развоја.

3.1. Критеријуми сценарија

Критеријуми сценарија исходе из окружења и у директној су вези са карактеристикама развијених сценарија и изазовима, ризицима и претњама безбедности којима се систем одбране треба супротставити.

Најзначајнији подкритеријуми који припадају критеријумима сценарија су:

- S_1 - вероватноћа сценарија;
- S_2 - последице које сценарио може да изазове, и
- S_3 - специфичности претње.

3.2. Критеријуми способности

Критеријуми способности су повезани са фазама идентификовања потребних способности и утврђивања разлике између потребних и постојећих способности у процесу планирања заснованог на способностима. Подкритеријуми се одређују на основу елемената модела идентификовања потребних способности, а односе се на циљеве војне операције, ефекте које је потребно постићи, капацитет способности, центре гравитације и одлучујуће тачке, као и на ризик неизградње способности.

Узимајући у обзир наведено, подкритеријуми способности су:

- C_1 - вероватноћа догађаја који изазива претња;
- C_2 - последице догађаја који изазива претња;
- C_3 - разлика између ефеката који су потребни и ефеката који се постижу;
- C_4 - допринос ефеката остварењу циља операције;
- C_5 - повезаност опције развоја са способностима које производе директне ефекте на центар гравитације (главне способности) или са способностима које су подржавајуће (обликујуће);
- C_6 - капацитет способности (број јединица којима је потребна одређена способност);
- C_7 - субординантне способности - садејство у испољавању ефеката са другим способностима и
- C_8 - степен условљености другим способностима (у којој мери друге способности условљавају одређену способност, односно у којој мери одређена способност представља предуслов за испољавање других способности).

3.3. Критеријуми опција развоја способности

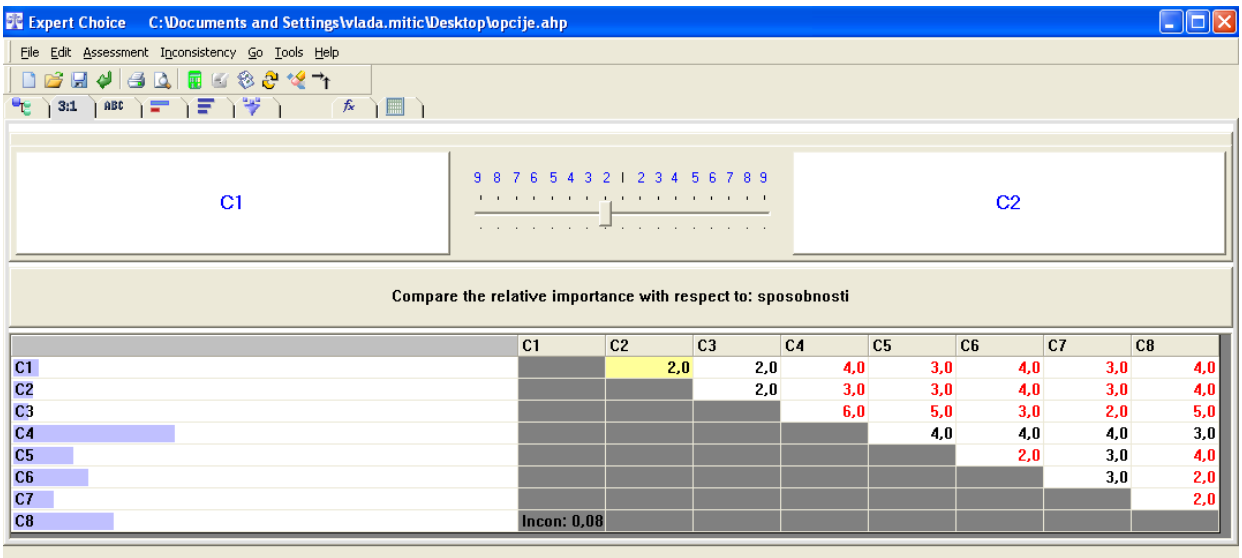
Критеријуми опције развоја способности односе се на мере којима се достижу потребне способности, повезани су са стандардима способности и имају знатно већи степен детаљности. Критеријуми опције развоја способности обухватају велики број подкритеријума који се односе на техничке карактеристике, могућности и повољности спровођења, различита ограничења, трошкове и друго.

На основу резултата анализе садржаја, као могући подкритеријуми критеријума опције развоја способности препознати су:

- O_1 - број способности које одређена опција задовољава;
- O_2 - дисперзивност услова - да ли се очекује да задовољи и услове ван оних који су у стандардима способности;
- O_3 - технолошка спремност;
- O_4 - ризик кашњења пројекта;
- O_5 - могућности властите индустрије;
- O_6 - технички ризици - отказа;
- O_7 - постојање политичких и правних ограничења;
- O_8 - интероперабилност;
- O_9 - могућност занављања, ремонта;
- O_{10} - постојање безбедносних, здравствених и еколошких ограничења;
- O_{11} - релевантност за оперативни концепт и постојећу доктрину;
- O_{12} - постојање инфраструктурних капацитета за подршку имплементације опције;
- O_{13} - постојање обученог људства и система обуке за подршку имплементације опције;
- O_{14} - постојање организацијских капацитета за подршку имплементације опције;
- O_{15} - компатибилност са другом опремом у војсци;
- O_{16} - постојање логистичких капацитета;
- O_{17} - потребно време имплементације;
- O_{18} - дугорочност опције;
- O_{19} - трошкови опције, подразумевајући трошкове целокупног животног циклуса и
- O_{20} - степен утицаја на друге способности.

4. ОДРЕЂИВАЊЕ РЕЛАТИВНЕ ТЕЖИНЕ КРИТЕРИЈУМА И ПОДКРИТЕРИЈУМА ЗА ИЗБОР ОПЦИЈЕ РАЗВОЈА СПОСОБНОСТИ

Имајући у виду да сви критеријуми и подкритеријуми немају исти значај за рангирање опција развоја способности њихов значај, односно њихова релативна тежина, одређена је експертском проценом коришћењем софтвера Expert Choice 11. На слици 1 приказано је поређење подкритеријума, од стране једног експерта, у оквиру критеријума способности применом софтверског пакета Expert Choice 11. Експерти су прво одређивали тежине критеријума, а затим подкритеријума у оквиру сваког критеријума.



Слика 1: Одређивање релативних тежина подкритеријума применом софтверског пакета Expert Choice 11

Коначни резултати примене софтвера приказани су у табели 2.

Табела 2: Релативне тежине критеријума и подкритеријума добијене софтвером Expert Choice

Критеријум / подкритеријум	Релативна тежина
Критеријуми сценарија	**0,637**
S_1 - вероватноћа сценарија	0,122
S_2 - последице које сценарио може да изазове	0,230
S_3 - специфичности претње	**0,648**
Критеријуми способности	**0,105**
C_1 - вероватноћа догађаја који изазива претња	0,054
C_2 - последице догађаја који изазива претња	0,042
C_3 - разлика између ефеката који су потребни и ефеката који се постижу	0,037
C_4 - допринос ефеката остварењу циља операције	**0,246**
C_5 - повезаност опције развоја са способностима које производе директне ефекте на центар гравитације (главне способности) или са способностима које су подржавајуће (обликујуће)	0,159
C_6 - капацитет способности (број јединица којима је потребна одређена способност)	0,142
C_7 - субординантне способности - садејство у испољавању ефеката са другим способностима	0,071
C_8 - степен условљености другим способностима (у којој мери друге способности условљавају одређену способност, односно у којој мери одређена способност представља предуслов за испољавање других способности)	**0,249**
Критеријуми опције развоја	**0,258**
O_1 - број способности које одређена опција задовољава	0,057
O_2 - дисперзивност услова - да ли се очекује да задовољи и услове ван оних који су у стандардима способности	0,015
O_3 - технолошка спремност	0,018
O_4 - ризик кашњења пројекта	0,016
O_5 - могућности властите индустрије	0,072
O_6 - технички ризици - отказ	0,047
O_7 - постојање политичких и правних ограничења	**0,085**
O_8 - интероперабилност	0,034
O_9 - могућност занављања, ремонта	0,043
O_{10} - постојање безбедносних, здравствених и еколошких ограничења	0,064
O_{11} - релевантност за оперативни концепт и постојећу доктрину	0,013
O_{12} - постојање инфраструктурних капацитета за подршку имплементације опције	0,028
O_{13} - постојање обученог људства и система обуке за подршку имплементације опције	0,031
O_{14} - постојање организацијских капацитета за подршку имплементације опције	0,029
O_{15} - компатибилност са другом опремом у војсци	**0,086**
O_{16} - постојање логистичких капацитета	0,077
O_{17} - потребно време имплементације	0,036
O_{18} - дугорочност опције	0,068
O_{19} - трошкови опције, подразумевајући трошкове целокупног животног циклуса	**0,082**
O_{20} - степен утицаја на друге способности	**0,098**

Анализом добијених резултата може се закључити да највећи утицај на избор опција развоја способности имају *критеријуми сценарија*, а најмањи *критеријуми способности*.

Такође, анализом се може закључити да у оквиру критеријума сценарија највећи утицај има подкритеријум који се односи на специфичности претње чиме се даје највећи значај опцијама којима се развијају способности везане за основну уставну и законску намену војске.

Код критеријума способности, највећи утицај има подкритеријум који се односи на степен утицаја на друге способности, односно подкритеријум који се односи на допринос ефекта који се постиже одређеном способношћу остварењу циљева операције.

Када су у питању критеријуми опције развоја способности, на основу експертске процене, највећи утицај имају подкритеријуми који се односе на степен задовољења критеријума способности, компатибилност са другом опремом у војсци, политичка и правна ограничења и трошкове опције.

5. ЗАКЉУЧАК

Анализом садржаја различите литературе, утврђен је одређен број критеријума и подкритеријума избора опција развоја. Предложени критеријуми и подкритеријуму представљају свеобухватан оквир за све релевантне факторе који могу утицати на избор опција развоја, чиме се додатно повећава објективност избора опција.

У раду су, применом експертске процене, одређене релативне тежине критеријума и подкритеријума на основу којих се врши избор оптималне опције развоја. Само објективно утврђени критеријуми и њихове релативне тежине омогућавају избор оптималне опције развоја способности војске применом било које методе вишекритеријумског одлучивања.

Једини ограничавајући фактор примене описаног начина одређивања релативне тежине критеријума, јесте неопходност ангажовања експерата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ковач, М., Стојковић, Д., *Стратегијско планирање одбране*, Војноиздавачки завод, Београд, 2009.

[2] Генералштаб Војске Србије, *Доктрина планирања у Војсци Србије,* Медија центар "Одбрана", Београд, 2012.

[3] TRADOC, *Capability Development Document (CDD) Writer's Guide*, ARCIC Operations, Plans and Policy Division, Army Capabilities Integration Center (ATFC-O), 2009.

[4] MORS Military Operations Research Society, *Capabilities Based Planning The Road Ahead.* MORS, Alexandria, 2005.

[5] Stojkovic, D., Bjørn, R., *Methodology for long term defence planning,* Norwegian Defence Research Establishment (FFI), Kjeller, 2007.

[6] Australian Government Department of Defence, *Defence Capability Development Manual,* Defence Publishing Service, Canberra, 2006.

[7] Australian Government Department of Defence, *Defence Capability Development Handbook 2014,* Defence Publishing Service, Canberra, 2014.

[8] Unite State Of America, Joint Staff, *Manual for the Operation of the Joint Capabilities Integration and Development System*, 2015.

[9] USA Department of Defence, *Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook*, 2009.

[10] Gaidow, S., Boey, S., Egudo, R., *A Review of the Capability Options Development and Analysis System and the Role of Risk Management*, Defence Science and Technology Organisation, Edinburgh, 2006.

[11] Davis, P. K., *Analytic Architecture for Capabilities-Based Planning, Mission-System Analysis, and Transformation*, RAND National Defense Research Institute, Santa Monica, 2002.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRISTUP SIMULACIJI ROJENJA I SINHRONIZOVANOG RAKETNOG UDARA PROTIV AKTIVNE PRETNJE*

APPROACH TO SIMULATION OF SWARMING AND SYNCHRONIZED MISSILE IMPACT AGAINST AN ACTIVE THREAT

RADOMIR JANKOVIĆ[1], MOMČILO MILINOVIĆ[2]

[1] Računarski fakultet Univerziteta Union, rjankovic@raf.rs
[2] Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, mmilinovic@mas.bg.ac.rs

Rezime: *U radu se predstavlja pristup simulaciji više samohodnih raketnih lansera koji u odbrani teritorije protiv aktivne pretnje primenjuju taktiku rojenja kombinovanu sa sinhronizovanim raktenim udarom. Date su neophodne definicije, polazne pretpostavke, opis simuliranog sistema, osnovi simulacionog modela i algoritam simulatora.*

Ključne reči: *Simulacija, taktika rojenja, samohodni lanser, raketni udar, sinhronizacija, aktivna pretnja.*

Abstract: *An approach to discrete events simulation of a system consisting of several self-propelled missile launcers which apply swarming tactics combined with synchronized missile impact in defending territory against an active threat has been presented in the paper. The necessary definitions has been given, as well as starting assumptions, the simulated system description, the simulatiom model basics and the simulator algorithm.*

Keywords: *Simulation, swarming tactics, self-propelled launcher, missile impact, synchronization, active threat.*

1. UVOD

Rojenje (engl. swarming) je ofanzivna odbrambena taktika od pretnje [1] u kojoj vojne snage napadaju pretnju iz više različitih pravaca, a zatim se regrupišu i vraćaju. Rojenje primenjuje više manjih jedinica, pojedinačno mnogo slabijih od pretnje, ali je njihova upotreba daleko efikasnija, pa one u ukupnom dejstvu često mogu da poraze i višestruko nadmoćnijeg protivnika [2].

Mada su u istoriji zabeleženi mnogi primeri uspešne primene rojenja [3], značaj ove taktike dolazi do punog izražaja tek u naše vreme, usled naglog razvoja informatičkih tehnologija, posebno umrežavanja i sažimanja računarstva i telekomunikacija.

Posle 2000. godine dolazi do intenzivnijeg istraživanja taktike rojenja, a prve praktične primene javljaju se u vojnim besposadnim vozilima (u vazdušnom prostoru, pod vodom i na kopnu), u vazduhoplovstvu, mornarici i specijalnim jedinicama kopnene vojske [4], [5] i [6].

Za male zemlje i njihove vojske, kao što je to slučaj sa Srbijom, jedna od najboljih investicija mogla bi da bude adaptacija tehnički intenzivnih i skupih delova oružanih snaga, posebno oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) i artiljerijsko-raketnih jedinica (ARJ), za primenu taktike rojenja. To je i motivacija istraživanja taktike rojenja OiMJ i ARJ na Računarskom fakultetu Univerziteta Union u Beogradu i Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. U istraživanjima se koristi metoda simulacije diskretnih dogadjaja. Do sada realizovani simulatori [7], [8], [9], odnosili su se na primenu rojenja kao ofanzivne odbrambene taktike OiMJ do nivoa oklopnog bataljona protiv pasivne ili aktivne pretnje.

U ovom radu se prvi put u istraživanju u simulaciju uvode ARJ, odnosno samohodni lanseri raketa koji protiv aktivne pretnje (AP) brane ćeliju teritorije (CT), primenjujući taktiku rojenja kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom. Specifičnost ove taktike je u tome što se sukob AP sa lanserima ARJ ne odvija u njihovom direktnom sudaru, kao što je to slučaj kod OiMJ, već izmedju raketa koje su ispalili lanseri ARJ i same AP koja može da ih uništi svojim sredstvima za protivraketnu odbranu, kada stignu u zonu samonavodjenja (ZSN). Taktika koju primenjuju lanseri odvija se u dve faze:

*Ovaj rad realizovan je u okviru projekta III-40027, delimično podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj RS

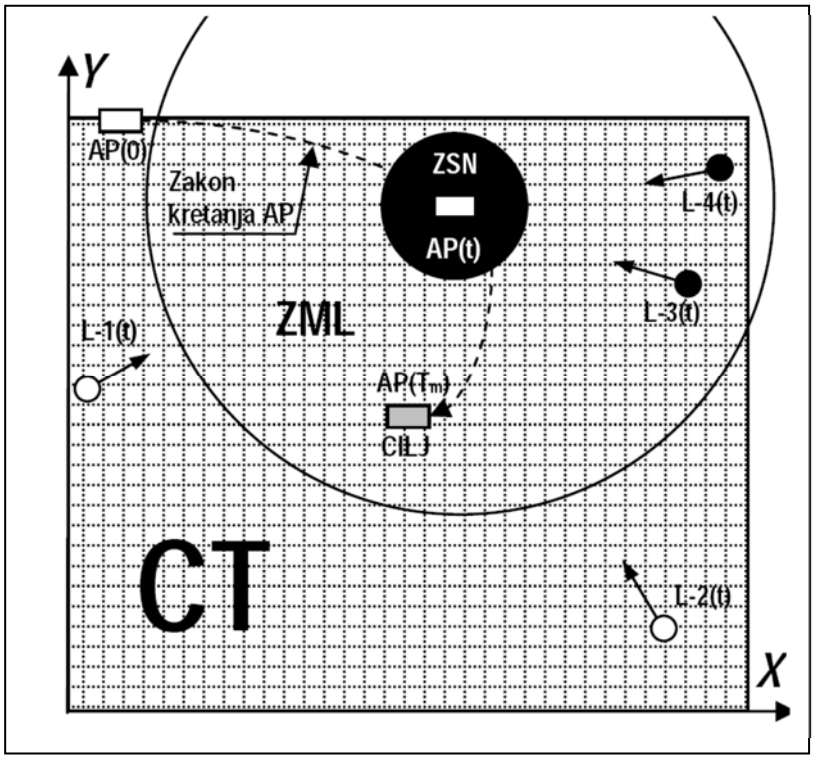
- **Rojenje** radi zauzimanja položaja za lansiranje;
- **Sinhronizovani raketni udar**.

U radu se opisuje simulirani sistem, a zatim se prikazuje algoritam simulatora rojenja i sinhronizovanog raketnog udara grupe samohodnih lansera protiv jedne AP. Ovakvi simulatori mogu da se upotrebe za procenu uspešnosti ofanzivnih odbrambenih taktičkih postupaka u odbrani delova teritorije i značajnih objekata od različitih aktivnih pretnji, kako većih snaga, tako i manjih diverzantsko-terorističkih sastava.

2. SIMULIRANI SISTEM

Sistem koji se simulira (**Slika 1**) obuhvata:

- Ćeliju teritorije (CT) koju lanseri brane od pretnje
- Grupu samohodnih lansera raketa zemlja-zemlja L-*i*
- Komandno-informacioni sistem (KIS)
- Aktivnu pretnju (AP)



Slika 1: Simulirani sistem

Ćelija teritorije (CT), **Slika 1**, na kojoj se odvijaju borbena dejstva predstavlja pravougaoni dvodimenzionalni prostor (x,y), okarakterisan maksimalnim vrednostima pravouglih koordinata i svojim težištem čije dostizanje predstavlja planirani cilj aktivne pretnje (CILJ). Ordinata pravouglog koordinatnog sistema u kome se nalazi CT orijentisana je u pravcu severa.

Odbrana teritorije može da se odvija na jednoj CT, ili na više susednih CT, preko kojih se kreće aktivna pretnja, ali CILJ aktivne pretnje nalazi se samo u jednoj od njih.

Samohodni lanseri L-*i* (i = 1,..,k) na početku simulacije imaju slučajan raspored na celoj površini CT koju brane. Njihova funkcija je onesposobljavanje AP da stigne do težišta branjene teritorije. To se postiže višestrukim pogadjanjem AP raketama koje se lansiraju prema aktivnoj pretnji, u skladu sa informacijama o njenom trenutnom položaju koje lanserima dostavlja komandno-informacioni sistem (KIS).

Protiv AP lanseri primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku koja se odvija u dve faze:

- **Rojenje**, u kojoj se lanseri usmeravaju ka AP, da bi joj se približili na rastojanje sa koga je moguće lansiranje raketa, tako da one stignu do AP pre nego što ona stigne do svog CILJA u težištu CT.
- **Sinhronizovani raketni udar**, gde se rakete, sa svih lansera kojima je po okončanju rojenja to moguće, lansiraju u redosledu tako da sve u približno istom trenutku pristignu na rastojanje kojim se definiše njihova zona samonavodjenja (ZSN) na AP.

Samohodni lanser ne može da lansira raketu iz pokreta, nego mora da stane i pripremi se za lansiranje (t_{prl}). Lanser može sa istim elementima lansira 2 rakete, u razmaku vremena uzastopnog lansiranja t_{ul}. Za svako naredno lansiranje od po 2 uzastopne rakete, do potpunog utroška borbenog kompleta BK_L, posada lansera mora da izvrši ponovnu pripremu u trajanju t_{prl}, kao i vreme izmedju 2 uzastopna lansiranja t_{ul}.

Lanser je nadležan za borbu protiv AP dok ona prelazi preko CT kojoj lanser pripada. Ako u svom daljem kretanju AP izadje iz posmatrane i predje u susednu ćeliju teritorije, prestaje nadležnost lansera za tu AP.

Karakteristike samohodnih lansera su:

- Maksimalna brzina kretanja lansera V_{Lmax} [m/s]
- Borbeni komplet lansera (BK_{L-i}), broj raketa koje lanser poseduje na početku simulacije. Svakim pojedinačnim lansiranjem BK_{L-i} se smanjuje za 1
- Vreme pripreme za lansiranje t_{prl} [s]
- Vreme izmedju 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera, bez novih elemenata, t_{ul} [s]
- Maksimalna brzina leta lansirane rakete V_{Mmax} [m/s]
- Zona mogućeg lansiranja (ZML) raketa (**Slika 1**): krug oko AP poluprečnika R_{ml} [m]
- Zona samonavodjenja (ZSN) raketa (**Slika 1**): krug oko AP poluprečnika R_{sn} [m] u kome raketa prelazi u režim samonavodjenja
- Verovatnoća pogadjanja AP kada je lansirana raketa u zoni samonavodjenja (ZSN), p_{hsn}

Komandno-informacioni sistem (KIS) u realnom vremenu izveštava sve samohodne lansere i ostale korisnike u sistemu o trenutnom položaju AP i drugim podacima od interesa. Redovne izveštaje KIS dostavlja korisnicima u svojim osnovnim vremenskim intervalima $\triangle$t. KIS uspešno radi ako dostavlja izveštaje o AP pre njihovog zastarevanja. Vreme zastarevanja izveštaja KIS t_z [s] odredjeno je izrazom:

$$t_z = \frac{P_{KIS}}{V_{AP\max}} \tag{1}$$

gde je P_{KIS} [m] preciznost KIS (zadato pomeranje AP usled daljeg kretanja u odnosu na prethodnu poziciju koje se toleriše kao da kretanja nije ni bilo), a V_{APmax} [m/s] maksimalna brzina kretanja AP.

Aktivna pretnja (AP), pored izvršavanja sopstvene misije, brani se od samohodnih lansera, tako što pored kretanja ka svom zadatom krajnjem položaju (CILJ), pokušava da uništi one lansirane rakete koje se u zoni njihovog samonavodjenja (ZSN) nađu u dometu njenih sopstvenih oruđa za protivraketnu odbranu. Tako se smanjuje broj njihovih mogućih pogodaka po AP, pa time i verovatnoća uspeha njihove taktike rojenja.

AP ne raspolaže orudjima za borbu protiv samih samohodnih lansera, već samo protiv njihovih lansiranih raketa, što znači da se sukob AP i tih raketa odvija isključivo u ZSN.

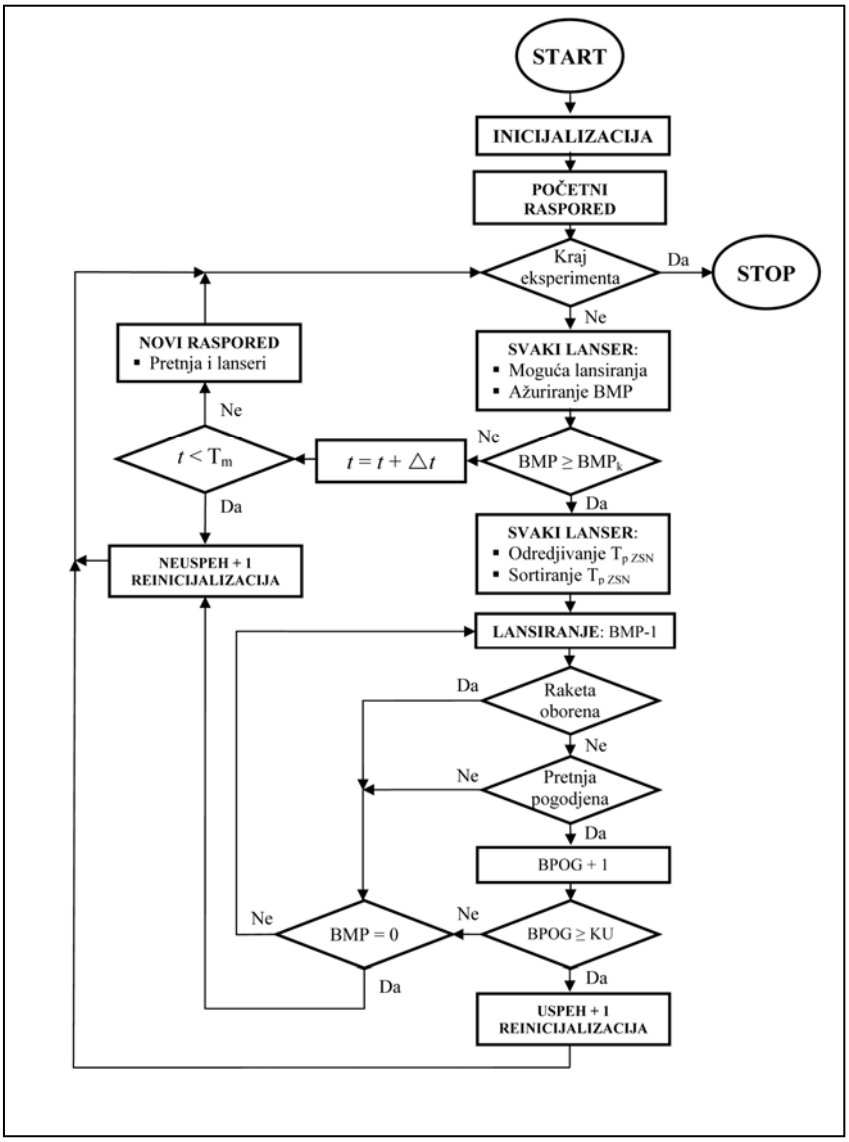
AP raspolaže odredjenim brojem orudja za protivraketnu odbranu, a 1 orudje AP može da se bavi sa 1 protivničkom raketom istovremeno. Imajući u vidu dimenzije ZSN i brzine kretanja lansiranih raketa u režimu samonavodjenja, u posmatranom slučaju je od presudnog značaja da raketni udar protiv AP bude **sinhronizovan**, što znači da se rakete lansiraju po vremenski uskladjenom redosledu, tako da se sve one istovremeno pojave u ZSN. Time se izbegava mogućnost da AP uništava nadolazeće rakete jednu po jednu i tako izbegne sopstveno uništenje, što bi inače kompromitovalo uspeh taktike branioca CT.

Karakteristike aktivne pretnje su:

- Maksimalna brzina kretanja AP, V_{APmax}
- Zakon kretanja AP ka cilju (**Slika 1**)
- Vreme pristizanja AP do njenog CILJA, T_m
- Broj orudja AP za protivraketnu odbranu BO_{pro}
- Verovatnoća uništenja lansirane rakete p_{hpro}
- Kriterijum uništenja AP, KU: broj pogodaka (BPOG) raketa po AP, posle koga se AP smatra uništenom i/ili onesposobljenom za nastavak misije.

3. ALGORITAM

Algoritam simulatora prikazan je na **Slici 2**.



Slika 2: Algoritam

Inicijalizacija simulatora obuhvata unošenje parametara eksperimenta i to:
- Broj simulacionih prolaza u eksperimentu
- Karakteristike ćelije teritorije
- Broj i karakteristike samohodnih lansera
- Karakteristike aktivne pretnje
- Brojači: mogućih pogodaka (BMP), ostvarenih pogodaka (BPOG), stanja borbenog kompleta svakog lansera (BK_{L-i})
- Kriterijum za donošenje odluke o lansiranju (BMP_k)

Početni raspored obuhvata: polaznu poziciju AP, CILJ i zakon kretanja AP, kao i početni raspored samohodnih lansera.

Uslov za kraj eksperimenta je izvršen broj simulacionih prolaza, zadat u inicijalizaciji. Ako je ispunjen, simulacija se zaustavlja i daje se izveštaj o postignutim rezultatima od interesa, u suprotnom se nastavlja.

U glavnoj petlji programa, za svaki lanser se odredjuje:

- Da li je moguće lansiranje neke od raketa kojima raspolaže, tako da ta raketa stigne do AP pre nego što AP stigne do svog CILJA;
- Ako ima takvih raketa na raspolaganju onda se za svaku od njih brojač mogućih pogodaka (BMP) povećava za 1.

Kada se analiziraju svi lanseri, ispituje se da li je BMP veći ili jednak od kriterijuma BMP_k, na osnovu čega se donosi odluka o pripremi svih takvih lansera i raketa za dejstvo protiv AP. Ako jeste, onda se za svaki takav lanser (i) i svaku raketu koju može da lansira (j), odredjuje vreme pristizanja rakete na ivicu ZSN, $T_{pZSN}(i,j)$, prema izrazu (2), kao i vreme pristizanja na ivicu ZSN sledeće rakete u nizu koju može da lansira isti lanser bez dodatne pripreme, $T_{pZSN}(i,(j+1))$, prema izrazu (3):

$$T_{pZSN}(i,j) = t + t_{\mathrm{prl}} + \frac{D_{iAP-}R_{sn}}{V_{Mmax}} \tag{2}$$

$$T_{pZSN}(i,(j+1)) = t + t_{\mathrm{prl}} + \frac{D_{iAP-}R_{sn}}{V_{Mmax}} + t_{\mathrm{ul}} \tag{3}$$

gde su:

t:	Posmatrani trenutak simuliranog vremena
t_{prl}:	Vreme pripreme za lansiranje
t_{ul}:	Vreme izmedju 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera
D_{iAP}:	Rastojanje i-tog lansera od AP
R_{sn}:	Rastojanje od AP kad počinje samonavodjenje
V_{Mmax}:	Maksimalna brzina rakete

Zatim se sva ova vremena pristizanja raketa na ivicu ZSN sortiraju po opadajućem redosledu, što kao rezultat daje opadajući niz od *ku* takvih vremena:

$$T_{pZSN}(1) \geq T_{pZSN}(2) \geq \ldots \geq T_{pZSN}(ku) \tag{4}$$

Uz svako od vremena pristizanja rakete u ZSN iz niza (4), čuvaju se i podaci o rednom broju lansera (*i*) i rednom broju rakete tog lansera (*j*).

Za **sinhronizovani raketni udar**, za svaku raketu se odredjuje trenutak njenog lansiranja Tl, na osnovu izraza:

$$T_l(k) = T_{pZSN}(k) - T_{pZSN}(k+1) \tag{5}$$

gde je k = 1, 2, ..., *ku*.

KIS dostavlja lanserima podatke o redosledu lansiranja. Rakete lansirane u takvom vremenskom poretku pristižu na ivicu ZSN u približno istom trenutku, jer se prvo lansira ona raketa kojoj za to treba najviše vremena, a zatim redom sve ostale.

Za svaku lansiranu raketu, odredjuje se da li je oborena od strane sredstava za protivraketnu odbranu AP. Ako jeste, (verovatnoća p_{hpro}), brojač mogućih pogodaka se smanjuje za 1 (BMP-1), a zatim se ispituje da li je nova vrednost BMP = 0. Ako jeste, taj simulacioni prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako raketa nije oborena (verovatnoća 1- p_{hpro}), ispituje se da li je raketa pogodila AP (verovatnoća p_{hsn}). Ako jeste, brojač postignutih pogodaka se uvećava za 1 (BPOG + 1), a zatim se ispituje da li je brojač pogodaka BPOG ≥ KU (kriterijum uništenja AP). Ako jeste, taj simulacioni prolaz se završava uspehom, a brojač uspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (USPEH + 1).

Ako raketa nije pogodila AP, ispituje se da li je BMP = 0. Ako jeste, taj simulacioni prolaz se završava neuspehom, a brojač neuspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Bilo da se simulacioni prolaz završio uspehom ili neuspehom, vrši se reinicijalizacija simulacionog prolaza koja obuhvata novi početni položaj AP, novi početni raspored svih lansera, vraćanje brojača mogućih pogodaka (BMP) i postignutih pogodaka (BPOG) na 0, kao i vraćanje borbenih kompleta lansera BK_L na njihovu maksimalnu vrednost. Zatim se ispituje da li je nastupio kraj eksperimenta. Ako nije, simulacija se nastavlja novim simulacionim prolazom.

Ako BMP nije veći ili jednak BMP_k, časovnik simuliranog vremena se povećava za 1 osnovni interval komandno-informacionog sistema, $\triangle t$, a zatim se ispituje da li je trenutna vrednost simuliranog vremena još uvek manja od vremena u kome AP stiže do svog CILJA ($t < T_m$).

Ako jeste, AP i svi lanseri zauzimaju novi raspored, u skladu sa trenutnom vrednošću simuliranog vremena: AP na osnovu svog zakona kretanja ili zadate maršrute, a lanseri se svojom najvećom brzinom usmeravaju prema poslednjem poznatom položaju AP koju im je javio KIS u prethodnom intervalu $\triangle t$.

Ako je dostignuta vrednost simuliranog vremena veća ili jednaka Tm, taj simulacioni prolaz se završava neuspehom i reinicijalizacijom, brojač neuspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1), a simulacija se nastavlja kao što je ranije opisano u slučaju neuspešnog simulacionog prolaza.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan princip sinhronizacije koji se zasniva na sortiranju trenutaka pristizanja raketa na ivicu zone samonavodjenja i odredjivanju vremenskog rasporeda lansiranja, tako da one, po završetku faze rojenja lansera, formiraju sinhronizovani raketni udar po aktivnoj pretnji.

Na osnovu takvog principa sinhronizacije, razvijen je i prikazan algoritam simulatora rojenja grupe samohodnih raketnih lansera protiv aktivne pretnje.

Ovakvi simulatori mogu da se upotrebe za procenu uspešnosti ofanzivnih odbrambenih taktičkih postupaka u odbrani delova teritorije i značajnih objekata od različitih aktivnih pretnji, kako većih snaga, tako i manjih diverzantsko-terorističkih sastava.

LITERATURA

[1] Arquilla, J., Ronfeldt, D., Swarming and the Future of Conflict, Rand Corporation, 1999.

[2] Edwards, S.J.A., Swarming on the Battlefield – Past, Present and Future, Rand Corporation, 2000.

[3] Edwards, S.J.A., Swarming and the Future of Warfare, Rand Corporation, 2005.

[4] Price, I.C., Lamont, G.B., GA Directed Self-organized Search and Attack UAV Swarms, Proc. of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA, 2006. pp.1308-1315.

[5] Nowak, D.J., Price, I., Lamont, G.B., Self-organized UAV Swarm Planning Optimization for Search and Destroy Using SWARMFARE Simulation, Proc. of the 2007 Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 2007.pp.1315-1323.

[6] Pohl, A.J., Lamont, G.B., Multi-objective UAV mission planning using evolutionary computation, Proc. of the 2008 Winter Simulation Conference, Miami, FL, USA, 2008. pp.1268-1279.

[7] Jankovic, R., Milinovic, M., Jeremic, O., Nikolic, N., On Application of Discrete Event Simulation in Armoured and Mechanized Units Research, Proc. of the 1st Internationa Symposium & 10th Balcan Conference on Operational Research, Thessaloniki, Greece, 2011. Vol.2, pp. 28-35.

[8] Jankovic, R., Computer Simulation of an Armoured Battalion Swarming, Defence Science Journal, vol. 61, no.1, pp. 36–43, January 2011

[9] Jankovic, R., Data Structures and Control Mechanisms for Multi-target Swarming Simulators, Electronic Letters, vol. 48, no. 16, pp. 997-998, 2012.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

RISK ASSESSMENT OF EXPLOSIVE CHARGE REMOVAL FROM ARTILLERY SHELL DURING AMMUNITION DISPOSAL PROCESS

ZORAN BAJIĆ[1], JOVICA BOGDANOV[1]

[1] University of Defence, Belgrade, Serbia, zoran.bajic@va.mod.gov.rs

Abstract: *Demilitarization of the surplus or obsolete ammunition presents great challenge regarding to the use of adequate technology and the risk assessment. Ammunition destruction or demilitarization removes many of the safety and security risks associated with the ammunition stockpiles but generates risk due to the specific techniques that are used. This paper deals with the risk assessment of the 122mm high explosive artillery shell disassembly as a part of the artillery ammunition disposal process. The procedure shortly described here includes the overheated steam melting of explosive charge from artillery shells 122mm. Hazards and sub-hazards were identified and risk were rated according to the United Nation's International Ammunition Technical Guidelines (IATG).*

Keywords: *Risk assessment, Ammunition disposal, Explosive charge, Explosive melting.*

1. INTRODUCTION

Demilitarization of the surplus or obsolete ammunition and explosive ordnance presents a set of intricate procedures and processes that include destruction of the energetic material and the recycling of the remaining components (Bevan 2008, Alvebro *et al*. 2009). Along with the outdated demilitarization methods such as open detonation/open burning etc. the ammunition disposal through its disassembly is considered as effective method due to security concerns and practical considerations, including safety and cost efficiency. This should preferably be achieved using an environmentally thorough demilitarization process whereby ammunition is stripped down to its component parts and compounds that are then recycled (IATG 2011).

Technology is often required to remove the explosive filling from the metal body of the ammunition after initial pre-processing. Although explosive removal can be considered as a pre-processing operation as it is also a major industrial process in terms of improving the recycling and re-use of military explosives for commercial use (FM 1986, FM 1996, Duijm and Markert 2002, IATG 2011).

Risk management includes the understanding of the risk, suggesting the ways to reduce it, evaluation of the alternatives and selecting preferred alternatives. It is essential to minimize the risk to workers, civil structures and the environment from the efficient means of ammunition disposal methods. Lowering the risk implies having high degree of confidence in the army facility processes and can be used in decision making practice. Thus, risk assessment and risk management activities need to be applied in the army facilities dealing with the ammunition demilitarization process.

The paper describes the risk assessment procedure for the overheated steam melting of explosive charge from artillery shells 122mm OF-462 for the howitzer D30. Explosive charge is made from melt cast TNT explosive with the mass of 4.166 kg.

2. RISK ESTIMATION IN AMMUNITION DEMILITARIZATION

Safety is achieved by reducing risk to a tolerable level, which is defined as tolerable risk (IATG 2011). There can be no absolute safety; some risk will remain and this is the residual risk.

As 'risk' is defined as a combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm, then for explosive events in ammunition storage areas the estimation of risk should establish and/or estimate (IATG 2011):

- the probability of an unplanned and undesirable explosive event;
- the physical effects of such an explosion;
- the number of casualties to be expected; and
- the levels of damage to be expected.

Risk ratings with action timetable is given in Table 1.

Table 1: Risk ratings

Risk rating	Risk	Action timetable
0 - 0.9	Acceptable	Accept Risk, but keep under review
1.0 - 4.9	Very Low	Consider action and set timetable for completion
5.0 - 9.9	Low	Consider action and set timetable for completion
10.0 - 49.9	Significant	Consider action and remedy as soon as possible
50 - 100	High	Action as soon as possible
100 - 200	Very High	Action immediately
200 - 300	Extreme	Consider stopping activity - Action immediately
300 +	Unacceptable	Stop activity

3. RISK ASSESSMENT IN AMMUNITION DEMILITARIZATION

Risk assessment at the specific workplace is based on the determination of all possible hazards. Hazards, according to their nature (Mauroni 2003, Wilkinson 2006, IATG 2011) can be:

- mechanical,
- electrical,
- access and environment,
- handling, lifting and transport,
- explosives and dangerous substances,
- noise and blast, and
- radiation.

Identifying and quantifying the potential hazards are of the utmost priority during ammunition disposal process. Hazards and sub-hazards are identified according to the real army demilitarization facility located in Kragujevac. Sub-hazards for the overheated steam melting of explosive charge from artillery shells 122mm OF-462 are determined from the hazards to be as follows:

1. Falling objects, heavy objects, manual handling,
2. High humidity,
3. High temperature.
4. Transport of explosives and ammunition,
5. Presence of secondary explosives,
6. Toxic and irritant explosive vapors,
7. Explosion blast wave and
8. Explosion fragmentation.

Aforementioned sub-hazards are explained in detail as follows:

1. Injury due to lifting of packs of 122mm artillery shells, and of individual shells from their packaging;
2. Exposure of workers to high humidity;
3. Exposure of workers to high temperature;
4. Explosion during movement of explosives from ammunition process building to explosive storehouse and vice versa;
5. Exposure of bare explosive to high temperature during melting;
6. Toxic and irritant fumes containing explosive and other materials;
7. Accidental initiation of shell filled with explosive charge; and
8. Fragmentation from shell body in the event of 7 above.

According to the Kinney type method (Kinney and Wiruth 1976) and method designed in the company Pilz GmbH & Co. KG, the scoring table for four dimensional risk rating calculation is given in Table 2.

Table 2: Scoring table for risk rating calculation

'E'		'F'		'L'		'N'	
Impossible	0.0	Infrequent	0.1	Fatality	15.0	1 - 2 Persons	1
Almost impossible	0.1	Annually	0.2	Permanent serious injury	8.0	3 - 7 Persons	2
		Monthly	1.0			8 - 15 Persons	4
Highly unlikely	0.5	Weekly	1.5	Temporary serious injury	4.0	16 - 50 Persons	8
		Daily	2.5			> 50 Persons	12
Unlikely	1.0	Hourly	4.0	Break major bone or major illness	2.0		
Possible	2.0	Constantly	5.0				
Even chance	5.0						
Probable	8.0			Lacerations or mild ill health	1.0		
Very likely	10.0						
Certain	15.0			Scratch or bruising	0.5		

Risk rating can be calculated using the following simple equation (Eq. 1).

$$R = E \cdot F \cdot L \cdot N \tag{1}$$

Where R is risk rating, E is probability of exposure, F is frequency of exposure, L is maximum loss and N is number of persons at risk. Calculated risk ratings for identified hazards are given in Table 3.

Table 3: Calculated risk ratings

Hazard	E	F	L	N	R
1	10	2.5	2	2	100
2	15	2.5	0.5	2	37.5
3	15	2.5	0.5	2	37.5
4	2	0.1	15	1	0.3
5	1	2.5	0.5	2	2.5
6	10	2.5	0.5	2	25
7	2	0.1	15	2	6
8	2	0.1	15	2	6

After the Table 3 results analysis it can be concluded that the high risk is actually for sub-hazard 1 requiring action as soon as possible. Significant risk can be expected from sub-hazards 2, 3 and 6 considering adequate reaction as soon as possible. Sub-hazards 7 and 8, even though are ones with the high damage and injury level when happened, require consideration for adequate reaction planned in the future due to their low risk. Very low risk has been obtained for sub-hazard 5, while sub-hazard 4 has acceptable risk requiring only the procedure to be kept under review.

Actions needed to apply along with the already executed control measures are meant for all sub-hazards with the risk level above significant. Generally, those actions are needed to be directed towards the constant improvement of explosive safety measures, additional staff training, provision of personnel protection equipment, reduction of the number of workers in high risk operations, automatize the whole activity especially lifting, transport and melting processes, providing of novel systems capable to reduce temperature, humidity and vapors etc.

4. CONCLUSION

Risk assessment is essential for the safety supervision during any activity especially one dealing with ammunition stockpile management. The paper shows the possibility of risk assessment of high risk processes such is the removal of explosive charge from artillery shell during the surplus or obsolete ammunition demilitarization. Sub-hazards were determined and the risk were calculated for the process done in actual ammunition facility pointing out the risk levels and the direction for the implementation of new safety measures and revision of old ones. The only main drawback of this method of risk assessment is its subjectivity but it is very useful for providing the implementation of preventive measures during the process monitoring.

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support from the University of Defense, Republic of Serbia, Project No. VA-TT/4-16-18.

REFERENCES

1. Alvebro, K., Björklund, A., Finnveden, G., Hochschorber, E., Hägvall, J., (2009). A Life-Cycle Assessment of Destruction of Ammunition. J. Hazard. Mater., 170, 1101-1109.
2. Bevan, J., (2008). Conventional Ammunition in Surplus a Reference Guide, Small Arms Survey, Graduate Institute of International Studies, Geneva, pp. 85-102.
3. Duijm, N. J., Markert, F., (2002). Assessment of technologies for disposing explosive waste. J. Hazard. Mater., 90(2), 137-153.
4. Field Manual (FM) 9-13, (1986). Ammunition, HQ, Department of the Army, Washington, DC.
5. Field Manual (FM) 9-15, (1996). Explosive Ordnance Disposal Service and Unit Operations, HQ, Department of the Army, Washington, DC.
6. International Ammunition Technical Guideline (2011). IATG 10.10, 1st Edition, UN, Geneva, CH.
7. Kinney, G. F., Wiruth, A. D., (1976). Practical risk analysis for safety management, NWC Technical publication 5865, Naval Weapons Center, China Lake, CA.
8. Mauroni, A., (2003). Chemical demilitarization: public policy aspects, Preager.
9. Wilkinson, A., (2006). Targeting ammunition: A Primer. Stockpile management of ammunition, Geneva: small arms survey, 228-259.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PODRŠKA ODLUČIVANJU U OPERACIJAMA SNAGA BEZBEDNOSTI PRIMENOM GRUBIH SKUPOVA I BAJESOVE TEOREME

DECISION MAKING SUPPORT IN SECURITY FORCES OPERATIONS BY APPLYING ROUGH SETS AND BAYES' THEOREM

ZORAN KARAVIDIĆ[1], RANKO LOJIĆ[2], DAMIR PROJOVIĆ[3]

[1] Vojna akademija, zkaravidic@gmail.com
[2] Vojna akademija, ranko.lojic@mod.gov.rs
[3] Vojna akademija, damirpro@yahoo.com

Rezime: *Rad ukazuje na moguću ulogu teorije grubih skupova u podršci odlučivanju u operacijama snaga bezbednosti. Savremene operacije se izvode u izuzetno nepredvidivom i haotičnom okruženju gde nepreciznost i neodređenost dominiraju u atributima odlučivanja. Primenom teorije grubih skupova, uz podršku Bajesove teoreme, formulišu se specifična pravila odlučivanja koja se odnose na uticajne faktore u planiranju bezbednosnih operacija.*

Ključne reči: *Grubi skupovi, Bajesova teorema, Kurs akcije, Redukcija skupa atributa, Algoritam odlučivanja.*

Abstract: *The paper points to the possible role of rough sets in decision making support in the security forces operations. Modern operations are performed in a highly unpredictable and chaotic surrounding where imprecision and indeterminacy dominate the decision atributes. By applying the rough sets theory, with the support of Bayes' theorem, specific decision rules are made. These rules refer to the influential factors in planning the security operations.*

Keywords: *Rough sets, Bayes' theorem, Course of action, Reduction of attributes set, Decision algorithm.*

1. UVOD

U savremenom geopolitičkom okruženju kompleksnost odnosa često izaziva nestabilnost u bezbednosnom okruženju i potrebu da se angažuju snage bezbednosti. Angažovanje se sprovodi kroz različite operacije koje uključuju angažovanje snaga iz sektora bezbednosti. Upravljanje navedenim operacijama predstavlja veliki izazov, a najznačajniji njegov deo predstavlja odlučivanje o načinu upotrebe snaga bezbednosti. To je, suštinski, izbor jednog iz skupa raspoloživih kurseva akcije (u daljem tekstu: KA). U tom smislu problem je izbor KA u operacijama snaga bezbednosti na osnovu nepotpunih, nepreciznih i nerazberivih podataka. Dodatni problem koji se javlja je nedostatak vremena da se obrade sve postojeće informacije. Vreme ograničava sprovođenje različitih ekspertskih metoda za podršku odlučivanju. Lica koja odlučuju o upotrebi snaga pokušavaju na razne načine da donesu najadekvatniju odluku.

Dosadašnja upotreba teorije grubih skupova težišno se odnosila na primenu u građevinarstvu (Kuburić *et al*. 2012), rudarstvu (Jiang et al. 2009), ekonomiji (Ahn *et al*. 2000), medicini (Stokić *et al*. 2010, Dai and Xu 2013), otkrivanju zakonitosti u podacima (Jia *et al*. 2007), i dr. Primena u podršci odlučivanju u bezbednosnoj dimenziji je izostala. S druge strane Božanić (2016) se bavio različitim metodama podrške odlučivanju u bezbednosnom sektoru međutim bez obrade koncepta grubih skupova.

Veliki broj metoda koje se bave podrškom odlučivanju operacijama snaga bezbednosti, koncipirane su tako da izaberu KA na osnovu različite metodologije poređenja atributa i takvo rešenje predlože licima koja odlučuju. Primenom operacija grubih skupova, uz podršku Bajesove teorije, dolazi se do najznačajnijih atributa za odlučivanje principom redukcije. Na taj način pruža se podrška ne samo procesu odlučivanja u izboru KA, već se daju usmerenja celokupnom procesu donošenja odluka o upotrebi snaga bezbednosti u operacijama. Takođe dolazi do velike uštede vremena, a ne zahteva se upotreba ekspertskog odlučivanja.

Rad je organizovan po sledećem. U poglavlju 2 će biti iznete osnove teorije grubih skupova. Poglavlje 3 upućuje na izbor KA i vrednosti atributa, dok poglavlje 4 razrađuje primenu grubih skupova i Bajesove teoreme za definisanje algoritama odlučivanja. Poglavlje 5 daje diskusiju rezultata, a poglavlje 6 zaključak i usmerenja za dalji rad.

2. KONCEPT GRUBIH SKUPOVA

Teorija grubih skupova je relativno nova matematička teorija predstavljena od strane poljskog naučnika Zdislava Pavlaka početkom 80-tih godina dvadesetog veka (Pawlak 1982). Polazi od pretpostavke da je svaki objekat Univerzuma opisan karakterističnim informacijama. Objekti koji su opisani istim informacijama smatraju se nerazberivim tj. međusobno sličnim. Relacija nerazberivosti nastala na ovaj način predstavlja matematičku osnovu teorije grubih skupova.

Svaki grubi skup sa sobom nosi odgovarajuću graničnu oblast, u kojoj se nalaze objekti, za koje se sa sigurnošću ne može tvrditi da pripadaju bilo posmatranom skupu, bilo njegovom komplementu. Na osnovu navedenog nameće se da grub skup može biti predstavljen pomoću para klasičnih skupova, koje nazivamo njegovom gornjom i donjom aproksimacijom. *Donja aproksimacija* sadrži objekte koji sigurno pripadaju skupu, a *gornja aproksimacija* sadrži objekte koji verovatno pripadaju posmatranom skupu. Razlika gornje i donje aproksimacije je granična oblast grubog skupa. U slučajevima kada je granična oblast prazna, tj. kada se podudaraju donja i gornja aproksimacija, radi se o klasičnom skupu. Što je veća granična oblast skupa to je skup više grub (Čupić and Suknović 2010).

Prilikom rešavanja problema metodom grubih skupova sreću se pravila koja za više istih elemenata uslova imaju različitu odluku. Ova pravila se nazivaju nekonzistentna i vode nemogućnosti da se donese ispravna odluka. Problem nekonzistentnih pravila se rešava *faktorom verodostojnosti* C koji se sagledava u odnosu pravilo odlučivanja δ(x) definiše na sledeći način:

$$C(\delta(x)) = \begin{cases} 1, & \text{за } \mu_X^I(x) = 0 \text{ или } 1 \\ \mu_X^I(x), & \text{за } 0 < \mu_X^I(x) < 1 \end{cases} \tag{1}$$

Što je vrednost faktora verodostojnosti bliža jedinici, pravilo je verodostojnije. Ukoliko je faktor jednak jedinici pravilo je konzistentno.

3. IZBOR KURSEVA AKCIJA I VREDNOSTI ATRIBUTA U OPERACIJAMA SNAGA BEZBEDNOSTI

Za primenu grubih skupova potreban je izvor podataka o operacijama snaga bezbednosti. Podaci se mogu dobiti (1) iz prethodno izvedenih operacija i (2) iz različitih simulacija operacija. Iskustva iz sprovedenih operacija predstavljaju kvalitetnu bazu za usmeravanje procesa odlučivanja. Centar za simulacije Vojne akademije sprovodi simulacije operacija i predstavlja izvor podataka koji će biti korišćeni u ovom radu.

U postupku vrednovanja neophodno je svakom od navedenih atributa dodeliti određene vrednosti. U tom cilju biće neophodno svaki od atributa posebno opisati odnosno definisati njegove vrednosti. Primena grubih skupova ne zahteva isključivo kvantitativne vrednosti, međutim za potrebe kompaktnijeg prikaza i kasnije lakše softverske obrade podataka vrednosti atributa moguće je zameniti odgovarajućim brojčanim ili slovnim zamenama. U daljem tekstu prikazan je jedan od načina vrednovanja atributa.

- Dovoljnost naših snaga (1). Sagledavajući broj ljudstva i jedinica kroz doktrinarna načela za izvođenje operacija možemo definisati vrednosti: a) više od potrebnih, b) adekvatne (dovoljne), c) nedovoljne.
- Jačina neprijateljskih snaga (2). U smislu dovoljnosti u obzir se uzima i teren izvođenja, te se dovoljnost neprijatelja posmatra kroz sredinu u kojoj se operacija izvodi. Tako definišemo: a) vrlo jake neprijateljske snage, b) adekvatne planiranoj operaciji, c) slabije neprijateljske snage.
- Vreme za pripremu operacije (3). Odrednica koja prikazuje moguće vreme za planiranje operacije na svim nivoima. U tom smislu definišemo vrednosti: a) dovoljno vreme za planiranje, b) ograničeno vreme za planiranje, koje traži veće i brže aproksimacije, c) nedovoljno vreme za planiranje.
- Borbeno okruženje u kome se izvodi operacija (4). Kroz prizmu organizacije i ograničenja uporebe naših snaga u različitim okruženjima, možemo definisati: a) povoljno (neograničena upotreba snaga), b) uobičajeno (teren različite strukture), c) kompleksno (najčešće urbano),
- Gubici naših snaga (5). Sagledavajući procentualne gubitke u skladu sa načelima izvođenja operacija možemo definisati: a) veliki gubici, b) prosečni gubici, c) mali gubici.
- Gubici u civilnom sektoru (6). Procenjeni na osnovu kompleksnosti okruženja u kome se izvodi operacija i obima operacije kao: a) veliki gubici, b) prosečni gubici, c) mali gubici.
- Manevar (7). Kao umešno korišćenje pokreta i vatre radi dovođenja snaga u povoljniji položaj u odnosu na neprijatelja je od velikog značaja za uspeh i vrednuje se kao: a) potpuno uspešan, b) delimično uspešan, c) neuspešan.
- Borbena podrška (8). Sagledava se kroz dovoljnost resursa vatrene i operativne podrške u različitom okruženju i može biti: a) adekvatna ili dovoljna, b) neadekvatna ili nedovoljna.

- Zaštita snaga (9). Podrazumeva aktivnosti radi umanjenja mogućnosti otkrivanja sopstvenih snaga i sprečavanja efekata dejstva neprijatelja i može se vrednovati kao: a) dovoljna, b) nedovoljna.
- Održivost snaga (10). Objedinjava različite aktivnosti, mere i postupke logističke podrške, kadrovskog i finansijskog obezbeđenja u operacijama radi efikasnosti i autonomnosti snaga tokom njihove upotrebe i može se vrednovati kao: a) povoljna, b) nepovoljna.
- Jednostavnost akcije (11). Veća složenost dovodi do težeg dostizanja planiranog cilja. Povezana je sa uspešnosti manevra i može se vrednovati kao: a) jednostavan, b) delimično složen, c) izuzetno složen.
- Moralno stanje (12). Podrazumeva moralno-psihološko stanje i odlučnost da se zadatak realizuje. Može se vrednovati kao: a) povoljno, b) delimično povoljno, c) nepovoljno.
- Obaveštajno-bezbednosni sistem (13). Prikupljanje, obrada i korišćenje obaveštajnih podataka je povezano sa uspehom u operaciji i može biti vrednovan kao: a) adekvatan, b) neadekvatan.
- Sposobnost vođenja operacije (14). Podrazumeva stručnost i iskustvo lica koja upravljaju operacijom, njihovu organizovanost, efikasnost i elastičnost u vođenju operacije. Može se vrednovati kao: a) visok nivo, b) adekvatan, c) nedovoljan.
- Koordinacija sa civilnim strukturama (15). Može se vrednovati kao: a) adekvatna, b) nedovoljna.
- Atribut odluke - uspešnost operacije (16). Može se prikazati kroz vrednosti: a) uspela, uz manje ili veće gubitke, b) neuspela.

4. PRIMENA GRUBIH SKUPOVA I BAJESOVE TEOREME ZA DEFINISANJE ALGORITAMA ODLUČIVANJA

Podrška izboru KA i procesu odlučivanja u operacijama snaga bezbednosti, primenom teorije grubih skupova, odvija se kroz: (1) formiranje tabele odlučivanja, (2) redukciju atributa i (3) generisanje pravila odlučivanja.

4.1. Formiranje tabele odlučivanja

Tabela odlučivanja je tabela podataka u kojoj se razlikuju dve klase atributa - atributi uslova i atributi odluke (Tabela 1). U svakoj vrsti opisan je jedan KA, a u svakoj koloni po jedan atribut. Zapisi unutar tabele su vrednosti atributa. Na taj način svaki red se može posmatrati kao informacija o pojedinom KA u operaciji.

Tabela 1: Tabela odlučivanja

KURS AKCIJE	ATRIBUTI USLOVA															ATRIBUT ODLUKE
	Dovoljnost naših snaga	Jačina neprijatelja	Vreme za pripremu	Borbeno okruženje	Gubici naših snaga	Gubici u civ. sektoru	Manevar	Borbena podrška	Zaštita snaga	Održivost snaga	Jednostavnost akcije	Moralno stanje	Obaveštajno-bezbed. sis.	Sposobnost vođenja	Koord. sa civilnim struk.	Uspešnost operacije
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
KA1	a	a	a	a	b	b	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a
KA2	a	c	b	c	b	a	b	a	a	a	b	b	b	b	b	a
KA3	c	b	c	c	a	a	b	a	b	b	b	b	a	b	a	b
KA4	b	c	b	b	b	b	c	a	a	a	c	c	b	c	b	b
KA5	b	c	b	b	b	b	a	a	b	a	b	b	a	a	b	a
KA6	b	b	b	b	c	c	a	a	a	a	b	b	a	a	a	a
KA7	c	b	c	b	b	c	c	a	b	a	b	b	a	b	a	b
KA8	a	c	c	c	b	a	b	a	a	a	a	b	a	a	b	a
KA9	c	c	b	a	b	b	c	b	b	b	a	c	b	c	b	b
KA10	b	c	b	c	b	b	b	a	a	a	b	b	a	a	a	a
KA11	b	b	b	b	a	b	a	a	a	a	b	b	a	b	b	a
KA12	b	c	b	c	b	b	b	b	a	b	b	b	a	a	b	a
KA13	a	a	b	b	c	b	a	a	a	a	b	b	a	b	a	a
KA14	a	a	b	b	c	b	a	a	a	a	b	b	a	b	a	b

Na osnovu podataka iz tabele 1 mogu se uočiti skup " KA koji su uspeli" (tj. operacija snaga bezbednosti je uspela po izabranom KA) i skup " KA koji nisu uspeli" (tj. operacija snaga bezbednosti nije uspela po izabranom KA. Donja aproksimacija skupa "KA koji su uspeli" je: {K1,K2,K5,K6,K8,K10,K11,K12}, gornja aproksimacija skupa "KA koji su uspeli" je: {K1,K2,K5,K6,K8,K10,K11,K12,K13,K14}. Donja aproksimacija skupa "KA koji nisu uspeli" je {K3,K4,K7,K9}, gornja aproksimacija skupa "KA koji nisu uspeli" je: {K3,K4,K7,K9,K13,K14}. Granični slučajevi u oba skupa su isti i podrazumevaju: {K13,K14}. K13 i K14 se na osnovu raspoloživog znanja koje proističe iz vrednosti atributa ne mogu pravilno klasifikovati.

Koeficijent tačnosti za skup "KA koji su uspeli" ima sledeću vrednost:

α (uspela)= |{K1,K2,K5,K6,K8,K10,K11,K12}| / |{K1,K2,K5,K6,K8,K10,K11,K12,K13,K14}| = 0.8

Koeficijent tačnosti za skup "KA koji nisu uspeli" ima sledeću vrednost:

α (nije uspela)= |{K3,K4,K7,K9}| / |{K3,K4,K7,K9,K13,K14}| = 0.66

4.2. Redukcija atributa

Sledeći korak je sastavljanje minimalnog podskupa nezavisnih atributa, odnosno reduktora, koji garantuje kvalitet klasifikacija kao ceo skup, kao jezgra atributa. Cilj je da se identifikuju oni atributi, koji shodno postavljenim zahtevima donosioca odluke, znatno utiču na donošenje odluke, odnosno da se odredi koji atribut, odnosno vrednost atributa KA i shodno njemu koji KA, ima prednost prilikom izbora. Redukcija se koristi samo u slučajevima kada ne narušava kvalitet aproksimacije.

Pronalaženje reduktora i jezgra atributa će biti urađeno preko matrice razlikovanja (Tabela 2). Matrica razlikovanja je simetrična matrica n*n i predstavlja Tabelu 1 bez atributa odluke i bez objekata koji se ne razlikuju, tj. nekonzistentne klase odluka. Nazivi atributa će zbog prilagođenijeg prikaza biti zamenjeni brojevima po navedenom redosledu u Tabeli 1.

Tabela 2: Matrica razlikovanja

	KA1	KA2	KA3	KA4	KA5	KA6	KA7	KA8	KA9	KA10	KA11	KA12	KA13	KA14
KA1	-	2,3,4,6, 7,11,13, 14,15	1,2,3,4, 5,6,7,9, 10,11,14	1,2,3,4, 7,11,12, 13,14,15	1,2,3,4, 9,11,15	1,2,3,4, 5,6,11	1,2,3,4, 6,7,9, 11,14	2,3,4, 6,7,15	1,2,3,7,8, 9,10,12, 13, 14,15	1,2,3, 4,7,11	1,2,3,4, 5,11, 14,15	1,2,3,4, 7,8,10, 11,15	3,4,5, 11,14	3,4,5, 11,14
KA2	-	-	1,2,3, 5,9,10, 13,15	1,4,6, 7, 11,12,14	1,4,6,7, 9,13,14	1,2,4,5, 6,7,13, 14,15	1,2,3,4, 6,7,9, 13,15	3,11, 13,14	1,4,6,7,8, 9,10,11, 12,14	1,6,13, 14,15	1,2,4,5, 6,7,13	1,6,8, 10,13,14	2,4,5,6, 7,13,15	2,4,5,6, 7,13,15
KA3	-	-	-	1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11, 12,13,14,15	1,2,3,4, 5,6,7, 10,14,15	1,3,4, 5,6,7, 9,10,14	4,5,6, 7,10	1,2,5,9, 10,11, 14,15	2,3,4,5,6, 7,8,11,12, 13, 14,15	1,2,3, 5,6,9, 10,14	1,3,4, 6,7,9, 10,15	1,2,3,5, 6,8,9, 14,15	1,2,3,4, 5,6,7, 9,10	1,2,3,4, 5,6,7, 9,10
KA4	-	-	-	-	7,9,11, 12,13,14	2,5,6,7, 11,12, 13,14,15	1,2,3,6, 9,11,12, 13,14,15	1,3,4,6, 7,11,12, 13,14	1,4,8, 9,10,11	4,7,11, 12,13, 14,15	2,5,7, 11,12, 13,14	4,7,8, 10,11, 12,13,14	1,2,5,7, 11,12, 13,14,15	1,2,5,7, 11,12, 13,14,15
KA5	-	-	-	-	-	2,5,6, 9,15	1,2,3,6, 7,14,15	1,3,4,6, 7,9,11	1,4,7,8, 10,11, 12,13,14	4,7, 9,15	2,5, 9,14	4,7,8, 9,10	1,2,5, 9,14,15	1,2,3,5, 9,14,15
KA6	-	-	-	-	-	-	1,3,5, 7,9,14	1,2,3,4, 5,6,7, 11,15	1,2,4,5,6, 7,8,9,10, 11,12,13, 14,15	2,4,5, 6,7	5,6, 14,15	2,4,5, 6,7,8, 10,15	1,2, 6,14	1,2, 6,14
KA7	-	-	-	-	-	-	-	1,2,4,6, 7,9,11, 14,15	2,3,4,6,8, 10,11,12, 13,14,15	1,2,3, 4,6,7, 9,14	1,3,5,6, 7,9,15	1,2,3,4, 6,7,8,9, 10,14,15	1,2,3,5, 6,7,9	1,2,3, 5,6,7,9
KA8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3,4,6,7, 8,9,10, 12,13,14	1,3,6, 11,15	1,2,3,4, 5,6,7, 11,14	1,3,6, 8,10,11	2,3,4,5, 6,7,11, 14,15	2,3,4,5, 6,7,11, 14,15
KA9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4,7,8,9, 10,11,12, 13, 14,15	1,2,4,5, 7,8,9, 10,11,12, 13,14	1,4,7,9, 11,12, 13,14	1,2,4,5, 7,8,9,10, 11,12, 13,14,15	1,2,4,5, 7,8,9, 10,11,12, 13,14,15
KA10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4,5, 7,14,15	8,10,15	1,2,4, 5,7,14	1,2,4, 5,7,14
KA11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4,5,7, 8,10,14	1,2, 5,15	1,2,5,15
KA12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2,4,5, 7,8,10, 14,15	1,2,4,5, 7,8,10, 14,15
KA13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KA14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Odgovor da li se svi KA razlikuju jedan od drugog se dobija primenom konjukcije svih zapisa u matrici razlikovanja (Ćirović and Kuburić 2008). Funkcija razlikovanja (Bool-ova funkcija) dovodi do problema pronalaženja podskupa atributa koji čuva relaciju nerazlikovanja, primenom matrice razlikovanja. Problem se svodi na pronalaženje implikanata jednačine (Kuburić et al. 2012). Jednačina se svodi na F(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15) = F(1,3,7) = F(dovoljnost naših snaga, vreme za pripremu, manevar).

4.3. Generisanje pravila odlučivanja i primena Bajevove teoreme

Dobijeni atributi su dovoljni za formiranje redukovane tabele odlučivanja (Tabela 3). Ostali atributi se odbacuju jer njihove vrednosti neće uticati značajnije na razvrstavanje KA i generisanje pravila odlučivanja.

Tabela odlučivanja ima važna svojstva verovatnoće. Svaka tabela odlučivanja zadovoljava svojstva teoreme totalne verovatnoće i Bajesove teoremu (Pawlak 2002). Na osnovu toga, da bi izračunali *sigurnost* (certainty) i *pokrivenost* (coverage) atributa za pravila odlučivanja dovoljno je da znamo *snagu* (strenght) i *podršku* (support) pravila odlučivanja. Podrška u našem radu predstavlja broj KA sa istim atributima. Snaga pravila predstavlja učešće određenog KA u ukupnom broju posmatranih KA i u zbiru svih mora biti 100%. Snaga pravila odlučivanja može biti dobijena i procenom.

Tabela 3: Redukovna tabela odlučivanja sa svojstvima verovatnoće

	dovoljnost naših snaga	vreme za pripremu	manevar	atribut odluke – uspešnost operacije	**PODRŠKA**	**SNAGA**	**SIGURNOST**	**POKRIVENOST**
KA1	više od potrebnog	dovoljno	potpuno uspešan	uspela	1	0,07	1,00	0,11
KA2	više od potrebnog	ograničeno	delimično uspešan	uspela	1	0,07	1,00	0,11
KA3	nedovoljno	nedovoljno	delimično uspešan	neuspela	1	0,07	1,00	0,20
KA4	adekvatno	ograničeno	neuspešan	neuspela	1	0,07	1,00	0,20
KA5 KA6 KA11	adekvatno	ograničeno	potpuno uspešan	uspela	3	0,21	1,00	0,33
KA7	nedovoljno	nedovoljno	neuspešan	neuspela	1	0,07	1,00	0,20
KA8	više od potrebnog	nedovoljno	delimično uspešan	uspela	1	0,07	1,00	0,11
KA9	nedovoljno	ograničeno	neuspešan	neuspela	1	0,07	1,00	0,20
KA10 KA12	adekvatno	ograničeno	delimično uspešan	uspela	2	0,14	1,00	0,22
KA13	više od potrebnog	ograničeno	potpuno uspešan	uspela	1	0,07	0,50	0,11
KA14	više od potrebnog	ograničeno	potpuno uspešan	neuspela	1	0,07	0,50	0,20

Iz prethodne tabele se može uočiti da je svojstvo *sigurnost* na visokom nivou, zbog velikog broja različitih kombinacija atributa uslova u redukovanoj tabeli odlučivanja. Navedeno svojstvo praktično predstavlja učešće svojstva podrške određene kombinacije atributa uslova u ukupnoj podršci te kombinacije atributa uslova. U tom smislu svojstvo sigurnosti pravila se može poistovetiti sa prethodno opisanim faktorom verodostojnosti C(δ(h)). Svojstvo pokrivenosti pravila daje značajan podatak o učešću određene vrednosti atributa odluke. Vidno je da se sa povećanjem broja analiziranih KA povećava tačnost redukcije, ali i svojstava verovatnoće koje će dati preciznije rezultate.

Za prva tri pravila, tabela odluka može se predstaviti sledećim algoritmom odlučivanja i faktorima verodostojnosti:

- **IF** (dovoljnost naših snaga, više od potrebnog) & (vreme za pripremu, dovoljno) & (manevar, potpuno uspešan) – **THEN** (operacija, uspela). Faktor verodostojnosti C(δ(1)) = 1
- **IF** (dovoljnost naših snaga, više od potrebnog) & (vreme za pripremu, ograničeno) & (manevar, delimično uspešan) – **THEN** (operacija, uspela). Faktor verodostojnosti C(δ(2)) = 1
- **IF** (dovoljnost naših snaga, nedovoljno) & (vreme za pripremu, nedovoljno) & (manevar, delimično uspešan) – **THEN** (operacija, neuspela). Faktor verodostojnosti C(δ(3)) = 1

Slično se mogu izvesti i ostali algoritmi odlučivanja.

5. DISKUSIJA REZULTATA

Izvedeni algoritmi odlučivanja upućuju i vode organe koji planiraju KA operacija snaga bezbednosti i lica koja odlučuju o izboru KA na pravila koja donose uspeh u operacijama u kompleksnom okruženju. Takođe pružaju podatak o kombinacijama atributa koja će doneti neuspeh. Vođeni tim pravilima u različitim situacijama redukuje se razmatranje određenih opcija u svim fazama planiranja i odlučivanja što dovodi do uvek preko potrebne uštede vremena.

Bajesova teorema otkriva odnose između odluka i njihovih razloga, tj odnose u grupama podataka. Ovaj način podrške potpuno je podržan u softverskim aplikacijama za rad sa grubim skupovima (ROSETA, ROSE2 i dr.) Slično, svojstva verovatnoće mogla su biti primenjena i na osnovnu tabelu odlučivanja radi početnog uvida u strukturu podataka. U situacijama problematičnih redukcija atributa upravo ovako dobijene verovatnoće mogu pomoći, međutim za te namene se moraju koristiti navedeni softverski paketi.

6. ZAKLJUČAK

Teorija grubih skupova je oblik "Soft Computing-a". Za razliku od ostalih "soft" metoda (neuronske mreže, fuzzy funkcija, genetički algoritmi i dr.), čija primena zahteva dodatne modele pretpostavki ili neki oblik predprocesiranja, grubi skupov koriste isključivo interna znanja, odnosno postojeće operativni podatke.

Prednost teorije grubih skupova u procesu donošenja odluke je mogućnost korišćenja kvalitativno-kvantitativnih podataka, ali i IF – THEN algoritama odlučivanja, koja se mogu primeniti na ceo proces donošenja odluke usmeravajući donosioca odluke ili tim koji radi u procesu u svakom trenutku procesa, ne samo u trenutku izbora KA.

Korišćenje koncepta grubih skupova u podršci odlučivanju snaga bezbednosti u operacijama omogućava da se na relativno jednostavan način dođe do izuzetno vrednih pokazatelja, koji mogu pomoći u procesu donošenja odluka. U radu je prikazan jedan način upotrebe koncepta, međutim zbog kompleksnosti okruženja u kom se realizuju operacije snaga bezbednosti moguće je koncept grubih skupova primeniti i na niže nivoe – podnivoe navedenih atributa. Takođe koncept može biti primenjen kroz postojeću aplikativnu podršku.

LITERATURA

[1] Ahn, B. S., Cho, S. S., & Kim, C. Y. (2000). The integrated methodology of rough set theory and artificial neural network for business failure prediction. *Expert systems with applications*, *18*(2), 65-74.

[2] Božanić, D. I., Pamučar, D. S., & Karović, S. M. (2016). Application the MABAC method in support of decision-making on the use of force in a defensive operation. *Tehnika*, *71*(1), 129-136.

[3] Ćirović, G., & Kuburić, M. (2008). Vrednovanje mostova primenom teorije grubih skupova. Zbornik radova Građevinskog fakulteta, Subotica, 17, 51-60.

[4] Čupić, M., & Suknović, M. (2010). Teorija odlučivanja, Beograd, FON, 227-236.

[5] Dai, J., & Xu, Q. (2013). Attribute selection based on information gain ratio in fuzzy rough set theory with application to tumor classification. *Applied Soft Computing*, *13*(1), 211-221.

[6] Jia, X., Shang, L., Ji, Y., & Li, W. (2007). An incremental updating algorithm for core computing in dominance-based rough set model. In *International Workshop on Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular-Soft Computing* (pp. 403-410). Springer Berlin Heidelberg.

[7] Jiang, F., Zhou, K., Deng, H., Li, X., & Zhong, Y. (2009). An Optimized Model for Blasting Parameters in Underground Mines' Deep-Hole Caving Based on Rough Set and Artificial Neural Network. In *Computational Intelligence and Design, 2009. ISCID'09. Second International Symposium on* (Vol. 1, pp. 459-462). IEEE.

[8] Kuburić, M., Ćirović, G., & Kapović, Z. (2012). Estimation of bridges through implementation of rough sets theory. *Tehnički vjesnik*, *19*(4), 781-793.

[9] Pawlak, Z. (1982). Rough sets. International Journal of Parallel Programming, 11(5), 341-356.

[10] Pawlak, Z. (2002). Rough set theory and its applications. Journal of Telecommunications and information technology, 7-10.

[11] Stokić, E., Brtka, V., & Srdić, B. (2010). The synthesis of the rough set model for the better applicability of sagittal abdominal diameter in identifying high risk patients. *Computers in Biology and Medicine*, *40*(9), 786-790.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ПРИМЕНА МЕТОДА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ (АХП И TOPSIS) ПРИ НАБАВЦИ ШИРОКОПОЈАСНИХ РАДИО ПРИЈЕМНИКА

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS METHODS (AHP AND TOPSIS) IN THE PROCUREMENT OF THE WIDEBAND RADIO RECEIVERS

БОЈАН КУЗМАНОВИЋ[1], МИЛАН КОВАЧЕВИЋ[2], МИРОСЛАВ ТЕРЗИЋ[3]

[1] Генералштаб, Војска Србије, bojank.kuzma@gmail.com
[2] Генералштаб, Војска Србије, kacaiaca@ptt.com
[3] Министарство одбране, terzicmiroslav@yahoo.com

Rezime: *У раду су примењене методе вишекритеријумске анализе (АХП и TOPSIS) при избору широкопојасног радио пријемника, ради опремања јединица Војске Србије. Подаци о алтернативама који су коришћени, преузети су из понуда фирми-произвођача опреме, а критеријуми које опрема треба да задовољи су добијени од корисника опреме (јединица за електронска дејства). Методе вишекритеријумске анализе су примењиване како би се помогло доносиоцу одлуке при избору једне од више алтернатива у процесу јавне набавке. Добијени ранг алтернатива по методама је анализиран и упоређиван како би се представио допринос метода вишекритеријумске анализе у процесу избора и набавке ове врсте опреме.*

Ključne reči: *набавка опреме, избор, вишекритеријумска анализа, метода АХП, метода TOPSIS.*

Abstract: *In this paper multi-criteria analysis methods (AHP and TOPSIS) were used in order to help decision makers to choose, or to narrow the choice, of wideband radio receivers, during public procurement of this equipment for military units. Information on alternatives that were used, were taken from the offers that companyies-producers submitted, and the criteria that equipment must satisfy were obtained from the users of the equipment (electronic warfare units). Multi-criteria analysis methods were applied in order to assist decision-makers in the selection of one, out of several, alternatives in the procurement process. The resulting ranking of alternatives was analyzed and compared in order to present benefits of multi-criteria analysis methods in the selection process and procurement of this type of equipment.*

Keywords: *equipment procurement, selection, multi-criteria analysis method, AHP, TOPSIS.*

1. УВОД

Развој телекомуникација је дозволио одржавање комуникација између корисника на терену (терориста, побуњеника, непријатељских јединица и сл.) различитим средствима и на различитим фреквентним опсезима у електромагнетном спектру (ЕМС). Данас се користи радио комуникација на различитим опсезима (ВФ, ВВФ, УВФ), мобилна телефонија, сателитске комуникације и други начини комуницирања уз употребу различитих техника преноса. Самим тим контрола злоупотребе ЕМС је постала сложен задатак.

Пријемна средства за контролу злоупотребе ЕМС су се такође развијала и након ускопојасних пријемника који су били у употреби последњих осам деценија, а који су могли у оквиру једног фреквентног опсега пратити један комуникациони канал на једној фреквенцији, данас су развијени широкопојасни пријемници који у више опсега, једновремено, могу регистровати и пратити комплетан саобраћај који се у њима одвија.

Јединице Војске Србије чија је мисија контрола информационог простора се опремају савременим средствима за електронска и противелектронска дејства. Приликом набавке се мора изабрати између више алтернатива (фирми – произвођача), чији производи морају да задовоље специфичне критеријуме (тактичко-експлоатациони захтеви, захтеви у погледу услова употребе, цена и остале карактеристике пријемника). До сада се приликом опремања јединица војске најчешће руководило ценом као критеријумом са највећом тежином, што за неке производе (нпр. пнеуматици за моторна возила, гориво, и сл.) има смисла јер се ради о потрошним средствима, међутим употреба средстава

за контролу ЕМС се планира за не мање од наредних пет година па је потребно истовремено узети у обзир више критеријума. Такође постоји више алтернатива (фирми - произвођача опреме), па су за решавање проблема избора опреме за јединице Војске Србије, у овом раду примењене методе вишекритеријумске анализе.

До данас је развијен велики број модела и техника који се баве проблемима опремања и набавке опреме (Терзић 2010, Деветак и Терзић 2011, Бајрами 2014). У овом раду ће бити коришћена метода Аналитичких хијерархијских процеса (АХП) и софтверски пакет *Expert Choice* за рангирање алтернатива-произвођача, а затим ће резултати бити проверени методом *TOPSIS* јер она врши поређење алтернатива на основу удаљености од идеалног решења. На тај начин се може допринети и процесу преговарања са произвођачима јер, у пракси, поједини произвођачи често прилагођавају своју понуду током процеса преговора у циљу добијања „посла“. Метода *TOPSIS* је употребљена и са субјективно одређеним тежинама критеријума и са тежинама критеријума добијеним у АХП методи.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

Опремање јединица Војске Србије набавком ствари са тржишта, је сложен и дуготрајан посао. Потребни широкопојасни пријемници морају задовољити специфичне критеријуме, тј. морају бити захтеваних карактеристика. Захтеве које пријемници морају испунити достављају јединице за електронска дејства, начелнику групе за техничку подршку, који расписује позив за јавну набавку, широкопојасних пријемника са жељеним карактеристикама. Приспеле понуде од фирми/понуђача (произвођача опреме) се разматрају, упоређују а резултат овог процеса је избор прихватљивог решења (широкопојасног пријемника) за опремање јединица за ЕД. Након избора, један или више понуђача најбољих понуда се позива на преговоре након чега се одлучује са ким ће се улазити у посао, тј. са ким ће се реализовати процес опремања.

Сви произвођачи ове специфичне опреме прате достигнућа у области телекомуникација па се у пракси се најчешће дешава да широкопојсни пријемници (алтернативе) буду сличних или истих карактеристика. То су обично следеће карактеристке: осетљивост, тип демодулатора, ширина демодулаторског филтра, праг детекције, аутоматска и ручна контрола појачања, фреквенцијска резолуција и начин напајања. Пријемници се најчешће разликују по поузданости, ширини фреквентног опсега, квалитету одржавања, могућностима рада у различитим условима, јер ове карактеристике зависе од квалитета уграђених компоненти. Произвођачи често „штеде“ на различитим компонентама, по њиховој процени/одлуци, па је и понуда на тржишту различита. Такође се дешава и да по једном критеријуму, нпр „поузданост“ понуде буду исте или сличне а да по другом критеријуму, нпр. „цена“ понуде буду драстично различите, тако да је потребно истовремено разматрати како алтернативе задовољавју више критеријума и онда их поредити. Наведена ситуација, начелнику техничке подршке (доносиоцу одлуке) отежава избор широкопојсног пријемника, због чега постоји опасност да превагне субјективна страна доносиоца одлуке па се може десити да решење проблема обухвати само неке од постављених критеријума.

Одлучивање представља избор једне из скупа свих могућих опција при чему читав тај скуп мора располагати са минимално две опције (Чупић и Сукновић 2010). Треба напоменути и да критеријуми заправо представљају групу атрибута који служе за описивање алтернатива и да су они ту да покажу на који начин одређене алтернативе могу да задовоље постављени циљ. У нашем случају битно је изабрати ценом најповољнију понуду али и широкопојасни пријемник који може да одговори како на тактичке захтеве, тако и на техничке захтеве. Због свега наведеног одређени су следећи релевантни критеријуми:ширина фреквентног опсега, услови употребе, поузданост, одржавање и цена.

Ширина фреквентног опсега - изражава се у GHz и минимално мора да износи 3 GHz (минимално у распону од 30 MHz до 3 GHz), при чему се подразумева да у опсегу у коме ради, пријемник врши пресретање, детекцију и демодулацију комуникацијских сигнала.

Услови употребе – изражава се у °C, пријемник мора радити у температурном опсегу од минимално 50°C (у минималном распону од 0 °C до +50°C).

Поузданост – оцењује се „средњим временом између отказа“ (енг. Mean Time Between Failure, MTBF). Средње време између отказа прорачунски је утврђено и практично проверено, просечно време рада између два узастопна отказа пријемника који се користи и одржава на прописани начин (MILSTD 217D, MILSTD 781C, IEC-605-7, IEC-1709). Изражава се у часовима и пријемник треба да има MTBF од минимум 10.000 часова.

Одржавање – изражава се у броју година, током којих произвођач мора обезбедити постојање стока резервних делова за пријемник (у минималном трајању од 3 године).

Цена – изражава се у хиљадама евра и представља критеријум типа „*cost*“.

3. ПРИМЕНА МЕТОДЕ АНАЛИТИЧКИХ ХИЈЕРАРХИЈСКИХ ПРОЦЕСА У ПРОЦЕСУ ИЗБОРА ШИРОКОПОЈСАНОГ ПРИЈЕМНИКА

Аналитички хијерархијски процес је метода која се често користи у области вишекритеријумског одлучивања. Заснива се на концепту баланса који се користи за одређивање свеукупне релативне значајности скупа критеријума, а односи се на анализирани проблем одлучивања. Процес моделирања се састоји од четири корака:

- Структурирање проблема.
- Прикупљање података.
- Одређивање релативних тежина.
- Одређивање решења проблема.

Одређивање решења проблема подразумева налажење тзв. композитног нормализованог вектора. Потребно је прво одредити вектор редоследа вредности критеријума у моделу, а затим одредити, у оквиру сваког посматраног критеријума, редослед важности алтернатива у моделу, применивши исту процедуру. Кад се изврши процена свих алтернатива по појединим критеријумима, приступа се свеукупној синтези проблема. Синтеза проблема подразумева да се помножи њено учешће у оквиру критеријума с релативном тежином критеријума и то за све критеријуме, а затим се добијене вредности сабирају за сваку алтернативу посебно. Сабирањем ових вредности добијају се укупна учешћа (тежине) за сваку алтернативу, чиме је одређен композитни нормализовани вектор (Чупић и Сукновић 2010).

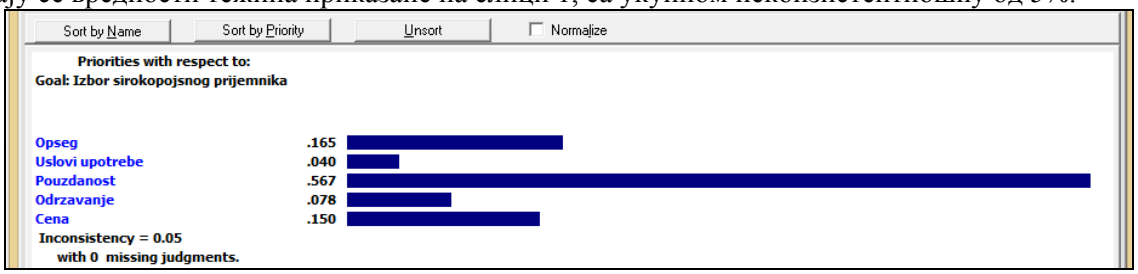
Ради решавања нашег проблема применом АХП методе, користићемо софтвер Expert Choice. Овај софтвер је један од алата за решавање проблема вишекритеријумског одлучивања који дозвољава структурирање проблема и упоређивање критеријума и алтернатива у паровима као и анализу осетљивости помоћу једноставне измене тежина критеријума уз графички приказ добијених решења.

Наш циљ је избор најприхватљивије понуде широкопојасног пријемника од пет понуђених алтернатива, при чему ћемо за проналажење оптималног решења користити пет описаних критеријума у односу на које ћемо посматрати расположиве алтернативе. По отварању понуда прикупљени су подаци о томе како понуђени пријемници задовољавају критеријуме (Табела 1).

Табела 1: Вредности карактеристика широкопојсних пријемника по дефинисаним критеријума.

	Опсег (у MHz)	Услови употребе (у °C x10)	Поузданост - MTBF (у 10^4 часова)	Одржавање (у годинама)	Цена (у 10^3 евра)
IZT	3,3	5	7	5	5
ELBIT	5,8	7	5	10	7
PLATH	3	5	1	3	4
R&S	3,6	5	2	5	5,5
ICOM	3,3	5	2	4	5

Прво је потребно дефинисати тежине критеријума у међусобно конзистентним односима. Софтвер користи Сатијеву скалу за упоређивање односа, па је након оцењивања односа између критеријума од стране Начелника групе за технички подршку добијена матрица, са укупном неконзистентношћу прихватљивог нивоа (од 5%). Врши се затим прорачун вредности тежина сваког критеријума и добијају се вредности тежина приказане на слици 1, са укупном неконзистентношћу од 5%.

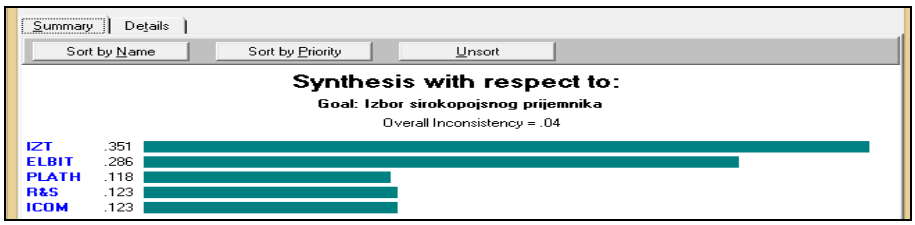


Слика 1: Израчунате тежине критеријума.

У поређењу са осталим критеријумима доминантан је критеријум „Поузданост“ чија је тежина 0,567. Овакво стање осликава реалне захтеве корисника да је најбитније да време између два отказа/квара пријемника буде што дуже јер ови пријемници најчешће раде непрекидно и на годишњем нивоу имају око 10.000 часова рада. Најмању вредност имају критеријуми „Услови употребе“ са тежином 0,040 јер се ови пријемници налазе у климатизованим просторијама или моторним возилима па температурни опсег рада има утицај на тактичку експлоатацију, али је он свакако мањи. Следећи корак је одређивање релативних преференција алтернатива у односу на задати

критеријум. На основу информација о алтернативама формира се таблица преференција при чему се такође користи Сатијева скала.

Коначан ранг алтернатива са укупном неконзистентношћу од 4 % приказан је на Слици 2, према којој је најприхватљивија понуда фирме IZT са укупним приоритетом од 0,351. Слика уједно представља „редослед/ранг“ широкопојасних пријемника, при чему је најлошије рангирана понуда фирме *PLATH* са укупном вредношћу приоритета од 0,118.



Слика 2: Коначан ранг алтернатива.

4. ПРИМЕНА МЕТОДЕ *TOPSIS* У ПРОЦЕСУ ИЗБОРА ШИРОКОПОЈСАНОГ ПРИЈЕМНИКА

Метода *TOPSIS* (Technique for Order Preference by Symilarity to Ideal Solution) подразумева рангирање алтернатива по више критеријума на основу поређења удаљености од идеалног решења и негативног идеалног решења. Идеално решење минимизира критеријуме трошковног типа, а максимизира критеријуме бенефитног типа, док за негативно идеално решење важи обрнуто. Метода пружа добро структурирани аналитички оквир за рангирање алтернатива, а за решавање вишедимензионих проблема неопходна је нормализација вредности. Метода користи једноставан математички апарат и увек се изводи у шест корака, без обзира на број алтернатива и критеријума. Оптимална алтернатива је она која је у геометријском смислу најближа идеалном решењу, односно најдаља од негативног идеалног решења.

У првом кораку се врши нормализација вредности матрице одлучивања. У другом кораку множе се нормализоване вредности матрице тежинским коефицијентима критеријума. На тај начин добијамо елементе тежински нормализоване матрице, где је сваки елемент производ нормализоване перформансе алтернативе и одговарајућег тежинског коефицијента критеријума.

Централни проблем у овом кораку је одређивање вредности тежина критеријума. Већина приступа одређивању тежина критеријума може се поделити на субјективне и објективне. Субјективни приступи су засновани на одређивању тежина критеријума на основу информације добијене од доносиоца одлуке или од експерата укључених у процес одлучивања. Субјективни приступи одражавају субјективно мишљење и интуицију доносиоца одлуке и тиме доносилац одлуке утиче на резултат процеса одлучивања. Објективни приступи су засновани на одређивању тежина критеријума на основу информације садржане у матрици одлучивања применом одређених математичких модела, више у Милићевић и Жупац (2012). У трећем кораку се одређују идеална решења. Затим следи одређивање растојања алтернатива од идеалних решења. У овом кораку се израчунавају Еуклидска растојања свих алтернатива од идеалног и идеалног негативног решења. У петом, кораку одређују се релативне близине алтернатива идеалном решењу. За сваку алтернативу одређује се релативно одстојање. Алтернатива је ближа идеалном решењу ако је Q^*_i ближе вредности 1, или, што је исто, ако је и S^* ближе вредности 0. У последњем шестом кораку алтернативе се рангирају по опадајућим вредностима Q^*_i. Најбоља алтернатива је она алтернатива чија је вредност Q^*_i највећа и обрнуто.

Представљену методу ћемо користити за избор најприхватљивије понуде широкопојасног пријемника од пет понуђених алтернатива. Подаци вредности карактеристика пријемника по свакој алтернативи приказани су у Табели 1, а исти су као и подаци коришћени при решавању проблема АХП методом. Применом корака ове методе са субјективно одређеним тежинама критеријума од стране Начелника групе за техничку подршку долазимо до ранга алтернатива који је приказан у Табели 2.

Табела 2: Удаљености од идеалног решења, негативног идеалног решења и коначни ранг.

	K_1 W_1=0,25	K_2 W_1=0,05	K_3 W_1=0,30	K_4 W_1=0,15	K_5 W_1=0,25	S^*	S^-	Q^*	Ранг
IZT	0,093	0,020	0,230	0,056	0,146	0,093	0,203	0,685	**1**
ELBIT	0,165	0,028	0,164	0,113	0,104	0,091	0,154	0,628	**2**
PLATH	0,085	0,020	0,032	0,034	0,167	0,227	0,063	0,217	**5**
R&S	0,102	0,020	0,065	0,056	0,136	0,188	0,053	0,219	**4**
ICOM	0,093	0,020	0,065	0,045	0,146	0,193	0,055	0,221	**3**

Проблем ћемо решити истом методом али са тежинама критеријума добијеним у методи АХП (Слика 1). У том случају отежана нормализована матрица одлучивања ће имати другачије вредности. Поново примeнивши остале кораке ове методе долазимо до ранга алтернатива који је приказан у Табели 3.

Табела 3: Удаљености од идеалног решења и негативног идеалног решења и коначни ранг.

	K_1 W_1=0,165	K_2 W_1=0,040	K_3 W_1=0,567	K_4 W_1=0,078	K_5 W_1=0,150	S^*	S^-	Q^*	Ранг
IZT	0,061	0,016	0,435	0,029	0,087	0,057	0,375	0,868	**1**
ELBIT	0,108	0,022	0,311	0,058	0,062	0,129	0,258	0,666	**2**
PLATH	0,056	0,016	0,061	0,017	0,100	0,379	0,038	0,091	**5**
R&S	0,067	0,016	0,124	0,029	0,081	0,315	0,067	0,175	**4**
ICOM	0,061	0,016	0,124	0,023	0,087	0,316	0,068	0,177	**3**

5. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Решавајући проблем избора широкопојасног радио пријемника са пет критеријума и пет алтернатива методе АХП и *TOPSIS* су се показале као веома успешан алат у процесу одлучивања. У обе методе смо добили исти резултат што говори о веродостојности добијених резултата. Дакле, на основу резултата, може се закључити да је широкопојасни пријемник фирме *IZT* најбољи избор (Табела 4).

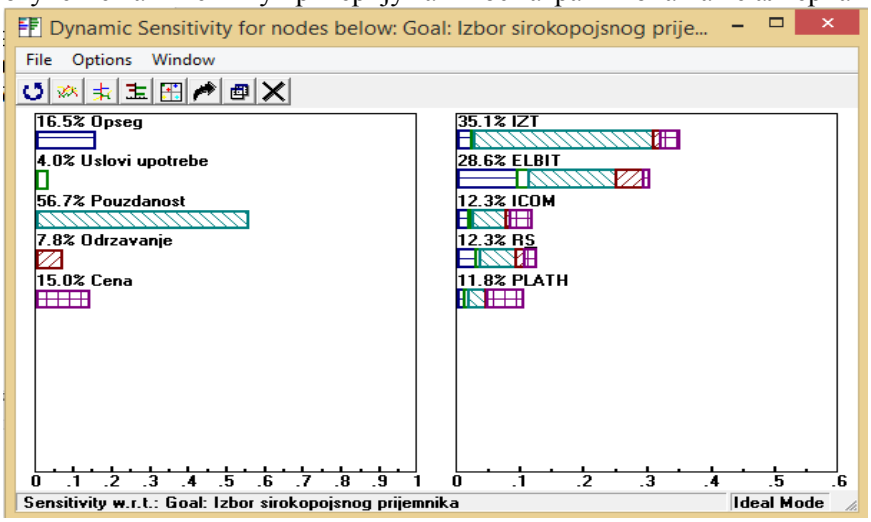
Табела 4: Упоредни приказ добијених резултата.

	АХП	*TOPSIS* (субјективно)	*TOPSIS* (објективно)
IZT	0,351	0,685	0,868
ELBIT	0,286	0,628	0,666
PLATH	0,118	0,217	0,091
R&S	0,123	0,219	0,175
ICOM	0,123	0,221	0,177

Анализом улазних података закључује се да иако понуђач *IZT* не доминира у свим критеријумима, а чак у једном критеријуму услов задовољава минималном вредношћу, у коначном рангу алтернатива је првопласиран. Алтернатива фирме *ELBIT* доминира у чак три од пет критеријума, али је ипак другопласирана. Најнеповољнији избор представља понуда фирме *PLATH* која је и најлошија у четири од пет критеријума.

Метода АХП омогућава доносиоцу одлуке анализу осетљивости резултата помоћу које се проверава стабилност добијених резултата симулирањем промене односа између тежина критеријума и приоритета алтернатива. Решење је стабилно јер само драстична промена тежинских коефицијената може пореметити поредак алтернатива. То би значило да критеријум са највећом тежином постане један од мање битних, што је у пракси немогуће. На основу изнетог закључује се да је постављени модел одлучивања реалан и конзистентан.

Софтвер *Expert Choice* нуди и динамички приказ осетљивости (Слика 3) што је за наш проблем од великог значаја, јер овај приказ показује снагу сваке алтернативе поредећи према критеријумима. На њему је такође могуће мењати тежину критеријума и посматрати понашање алтернатива.



Слика 3: Динамички приказ осетљивости.

6. ЗАКЉУЧАК

Допринос вишекритеријумске анализе у решавању проблема избора широкопојасног пријемника је велик. До решења се долази брзо, решење је стабилно, проверљиво и конзистентно.

У решавању овог проблема прво је коришћена АХП метода јер резултати одлучивања АХП методом не садрже само ранг алтернатива, већ и информације о тежинским коефицијентима критеријума у односу на циљ. Ови тежински коефицијенти критеријума су искоришћени касније у методи *TOPSIS*. Такође, АХП метода је изузетно користан алат јер не занемарује чињеницу да доносиоц одлука на менталном плану често не раздваја процес процењивања критеријума од процењивања алтернатива. На овај начин одржана је контрола конзистентности процена, водећи рачуна о целини проблема и функционалним интеракцијама критеријума и алтернатива.

У поређењу са методом *TOPSIS*, АХП метода је показала већу прецизност, а добијени резултат је показао јаснију разлику између алтернатива јер је разлика између прве и друге алтернативе већа. Слично се уочава ако се упореде резултати методе *TOPSIS* са субјективно и објективно одређеним тежинама. Резултат је био исти али када се тежине критеријума објективно одређују резултат је јаснији (већа је разлика између алтернатива).

Метода *TOPSIS* има увек исти број корака без обзира на број алтернатива и користи релативно једноставан математички апарат али у случају субјективног одређивања тежина критеријума, јак и директан утицај на резултат има доносилац одлуке и тада одлука (решење) зависи од његових преференција. У случају тежина критеријума одређених методом АХП, добијени резултат је био најјаснији и најпрецизније је показивао разлику између алтернатива.

Употребом метода вишекритеријумске анализе, приликом избора широкопојасног пријемника, дошло се до прихватљивог решења проблема а добијени подаци се могу користити и у наставку процеса опремања. Наиме, захваљујући резултатима методе *TOPSIS,* у преговорима који следе, након избора произвођача опреме, доносилац одлуке је у предности јер зна и чему треба тежити у преговорима (идеално решење), а захваљујући динамичком приказу осетљивости из методе АХП јасно се види у чему је снага сваке понуде, тј. које су предности а које су мане сваке алтернативе.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бајрами Ш. (2014). ELECTRE и AHP – Системи за подршку вишекритеријумском одлучивању, INFOTEH-JAHORINA. Vol. 13.

[2] Чупић, М., Сукновић, М. (2010). Одлучивање. Београд: Факултет организационих наука.

[3] Деветак С., Терзић М. (2011). Примена методе аналитичких хијерархијских процеса у избору оптималног тактичког радио система, Војнотехнички гласник. Београд.

[4] Expert choice – uputstvo, dostupno na: http://odlucivanje.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/Expert-Choice.pdf**.**

[5] Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey. vol. 186. New York: Springer-Verlag.

[6] Милићевић М., Жупац Г. (2012). Субјективни приступ одређивању тежина критеријума, Војно технички гласник. Београд.

[7] Saaty, T.L. (1980). Analytic hierarchy process. New York: Mc GrawHill.

[8] Терзић М. (2010). Примена метода вишекритеријумског одлучивања у набавној функцији система одбране коришћењем софтвера Expert Choice, Војно Дело. Београд.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕЖИНСКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА КРИТЕРИЈУМА ПРИМЕНОМ FUZZY DELPHI МЕТОДЕ

APPLICATION OF FUZZY DELPHI METHOD FOR ASSESSMENT OF CRITERIA WEIGHT

СРЂАН ДИМИЋ[1] ВЛАДА МИТИЋ[2] МИЛОМИР ИСАИЛОВИЋ[3]

[1] Министарство одбране Републике Србије, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs
[2] Министарство одбране Републике Србије, Београд, vlada.mitic@mod.gov.rs
[3] Министарство одбране Републике Србије, Београд, milomir.isailovic@mod.gov.rs

Резиме: *Одређивање тежинских коефицијената критеријума један је од кључних проблема који се јавља у моделима вишекритеријумске оптимизације. Узимајући у обзир чињеницу да тежински коефицијенти критеријума могу значајно утицати на резултат процеса одлучивања, јасно је да се посебна пажња мора посветити објективности у процесу одређивања тежинских коефицијената критеријума. У раду је приказана могућност примене fuzzy Delphi методе за одређивање тежинских коефицијената критеријума који су коришћени приликом избора оптималног модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране.*

Кључне речи: *тежински коефицијент, критеријум, fuzzy Delphi метода.*

Abstract: *One of the key problems of multi-criteria optimization models is assessment of criteria weight. The weight of criteria affect significantly the outcome of the decision process. Thus, special attention should be paid to the objective weighting of criteria. This paper presents the possibility of using fuzzy Delphi method to assess the weight of criteria that are used in the process of selection of the optimal model of strategic transport management in the defense system.*

Keywords: *weighting coefficient, criterion, fuzzy Delphi method.*

1. УВОД

У теорији одлучивања развијен је велики број метода и техника које су нашле широку примену у процесу доношења одлука. Најчешће се за ту сврху користе методе вишекритеријумског одлучивања које доносиоцима одлуке омогућавају избор између више могућих решења. При том треба имати на уму да критеријуми немају исти степен значајности, па је потребно да доносилац одлуке дефинише факторе значајности појединих критеријума користећи одговарајуће тежинске коефицијенте.

Да би се извршило рангирање опција, потребно је дефинисати релевантне критеријуме за рангирање, а затим сваком критеријуму доделити одговарајући тежински коефицијент, који представља важност самог критеријума у процесу рангирања. Избор одговарајућих критеријума на основу којих се врши вредновање опција и додељивање тежинских коефицијената критеријумима представља веома важан корак у процесу вишекритеријумског одлучивања од којег у великој мери зависи и коначан резултат вредновања.

У раду је приказана могућност примене fuzzy Delphi методе за одређивање тежинских коефицијената критеријума који су коришћени за избор оптималног модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране.

2. УТВРЂИВАЊЕ КРИТЕРИЈУМА

У процесу вишекритеријумског одлучивања адекватан избор критеријума веома је важан како би се донела одлука о избору једног од више могућих решења. Први корак у избору оптималног решења јесте утврђивање критеријума на основу којих се врши рангирање опција.

Када је реч о управљању транспортом у систему одбране Републике Србије, критеријуми се могу груписати у три категорије: општи, посебни и специфични критеријуми [1]. *Општи критеријуми* формирају се на основу транспортних захтева (расположивост транспортних капацитета, цена

транспорта, расположиво време, трајање транспорта и критеријуми безбедности у саобраћајном смислу). *Посебни критеријуми* формирају се на основу посебних захтева које диктирају околности у условима реализације транспорта (експлоатациони показатељи транспорта, квалитет услуге, осигурање транспорта, остали транспортни трошкови, посебни захтеви терета и посебни захтеви органа командовања). *Специфични критеријуми* формирају се на основу специфичних захтева организационих целина Министарства одбране и Војске Србије (специфичан захтев за конкретан задатак, критеријум приоритета, критеријум доступности, критеријуми управљања ризиком и еколошки критеријуми).

Избор критеријума и избор метода за евалуацију алтернативних решења су паралелне и међузависне активности. При том избору треба имати у виду да и критеријуми и методе морају одговарати проблему и постављеним циљевима, при чему је неопходно утврдити критеријуме који су у блиској вези и који су спона између проблема и циљева.

За потребе избора оптималног модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране Републике Србије, спроведено је истраживање на основу кога су утврђени следећи критеријуми [2]:

- функционалност;
- изводљивост;
- трошкови имплементације;
- флексибилност;
- ризик имплементације.

Наведени критеријуми су квалитативног карактера, док се вредности алтернатива по критеријумима изражавају одговарајућим лингвистичким дескрипторима уз примену fuzzy вредности.

3. FUZZY DELPHI МЕТОДА

Delphi метода сматра се најважнијом методом интуитивног предвиђања. Метода је стохастичког карактера и своди се на системску размену и комбиновање индивидуалних мишљења групе експерата о проблему истраживања [3]. Поступак спровођења Delphi методе приказан је на слици 1.

Слика 1: Ток примене Delphi методе [2]

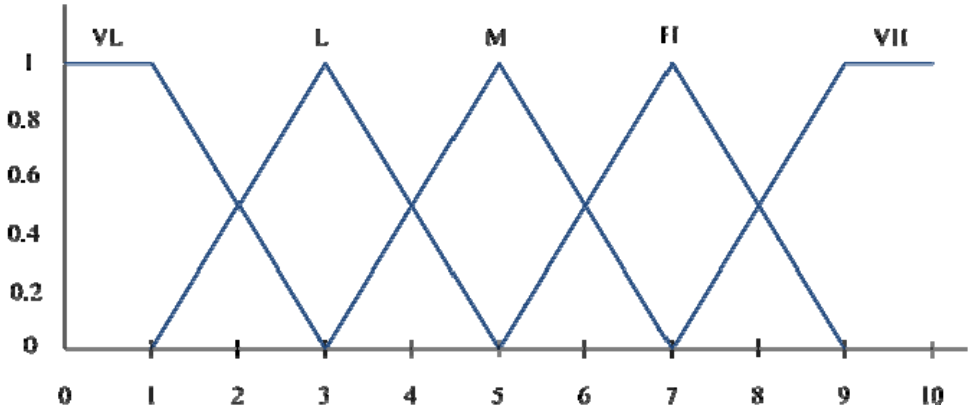
Већину прикупљених података применом класичне Delphi методе карактерише висок степен неизвесности и неодређености које могу да се опишу лингвистичким изразима и моделирају fuzzy бројевима.

Прогнозирање помоћу fuzzy Delphi методе врши се кроз следеће кораке [4]:

Корак 1. Избор експерата у зависности од врсте прогнозирања, имајући у виду њихово искуство. Број експерата према препорукама из литературе обично се креће од 15 до 20.

Корак 2. Подела експерата у групе према степену образовања, функционалном положају претходним искуствима у сличним истраживањима итд. Сваком експерту додељује се одређени тежински коефицијент, $w_i \in [0,1]$, такав да је сума тежинских коефицијената свих експерата једнака јединици ($\sum w_i = 1$).

Корак 3. Дефинисање питања на које експерти треба да дају одговоре. Експерти имају задатак да своју процену интензитета утицаја конкретног критеријума представе једним од понуђених одговора. Одговори експерата на постављено питање фазификују се у складу са утврђеном скалом за фазификацију лингвистичких израза (Слика 2).



Слика 2: Скала за фазификацију лингвистичких израза Delphi методе

Корак 4. На основу одговарајућих тежинских коефицијената (w_i) и фазификованих вредности одговора $O_{i1}=(a_{i1}, b_{i1}, c_{i1}, d_{i1})$) утврђује се средња вредност одговора групе експерата:

$$O_{sr} = \left(a_{sr}^{w}, b_{sr}^{w}, c_{sr}^{w}, d_{sr}^{w}\right) \tag{1}$$

где је:

$a_{sr}^{w} = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot a_{i1}$, $b_{sr}^{w} = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot b_{i1}$, $c_{sr}^{w} = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot c_{i1}$, $d_{sr}^{w} = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot d_{i1}$, N је број експерата.

Корак 5. Утврђује се квантитативна вредност средње процене групе O_{def} дефазификацијом средњег одговора групе експерата:

$$O_{def} = \left(a_{sr}^{w} + b_{sr}^{w} + c_{sr}^{w} + d_{sr}^{w}\right) / 4 \tag{2}$$

Корак 6. Утврђује се лингвистички израз средње процене групе анализом подударности средње вредности одговора групе $O_{sr}=(a^{w}_{sr},b^{w}_{sr},c^{w}_{sr},d^{w}_{sr})$ са fuzzy бројевима из скале за фазификацију лингвистичких израза $(O_{VL}, O_L, O_M, O_H, O_{VH})$. За лингвистички израз средње вредности одговора групе експерата прихвата се израз чија се fuzzy вредност у највећој мери подудара са O_{sr}.

Корак 7. Степен подударности утврђује се на основу висине пресека функција припадности посматраних fuzzy бројева, а прихвата се лингвистички еквивалент оног fuzzy броја O_{sr}' који има највећу висину утврђеног пресека:

$$\max\left[\mu_{O_{sr}' \cap O_{sr}}\right], \text{ где} \tag{3}$$

$O_{sr}' \in \{ O_{VL}, O_L, O_M, O_H, O_{VH}\}$

Корак 8. Валидација добијених резултата. Да би се као средње мишљење групе експерата прихватио одређени лингвистички израз, потребно је да буде задовољен и критеријум стабилности у мишљењима експерата, тј. да сума тежинских коефицијената додељених експертима који су у последњем циклусу испитивања променили мишљење, у односу на претходни циклус, буде мања од унапред постављеног прага стабилности ε.

$$\Delta W = \sum w_i^{*} < \varepsilon \ \text{, где је } w_i^{*} = \begin{cases} w_i, \ \forall \ O_{i1} \neq O_{i2} \\ 0, \ \text{у осталим случајевима} \end{cases} \tag{4}$$

Корак 9. Када је након *n*-тог круга испитивања $O_{sr}' \Leftrightarrow O \in \{ VL, L, M, H, VH\}$ и када је задовољен критеријум стабилности у мишљењима експерата тј. $\Delta W = \sum w_i^{*} < \varepsilon$ тада се као средње мишљење групе експерата може прихватити израз O.

4. ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕЖИНСКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА КРИТЕРИЈУМА ПРИМЕНОМ FUZZY DELPHI МЕТОДЕ

За одређивање тежинских коефицијената критеријума утврђених за вредновање модела стратегијског управљања транспортом у систему одбране Републике Србије примењена је fuzzy Delphi метода.

Применом fuzzy Delphi методе [5], спроведено је истраживање о интензитету утицаја идентификованих критеријума. Експерти су имали задатак да своју процену интензитета утицаја конкретног критеријума представе једним од понуђених одговора:

- врло низак - very low (VL),
- низак - low (L),
- средњи - medium (M),
- висок – high (H)
- врло висок - very high (VH).

У току реализације истраживања експерти су подељени у три групе, у складу са степеном образовања и функционалним положајем у систему одбране, где је сваком од експерата додељен одређени тежински коефицијент, такав да је сума тежинских коефицијената свих експерата једнака јединици ($\sum w_i = 1$).

Након првог круга истраживања, одговори експерата добијени анкетирањем су фазификовани у складу са утврђеном скалом за фазификацију – трансформисани у трапезоидалне fuzzy бројеве $O_{in} = (a_{in}, b_{in}, c_{in}, d_{in})$, где индекс i представља i-тог експерта, а индекс n – n-ти круг испитивања. Трапезоидални fuzzy бројеви су изабрани ради адекватне презентације екстремних процена интензитета утицаја група фактора („врло низак” и „врло висок”).

Затим је, у складу са пондерисаним fuzzy Delphi приступом, на основу одговарајућих тежинских коефицијената и фазификованих вредности одговора утврђена средња вредност одговора групе експерата $O_{sr} = (a^w_{sr}, b^w_{sr}, c^w_{sr}, d^w_{sr})$.

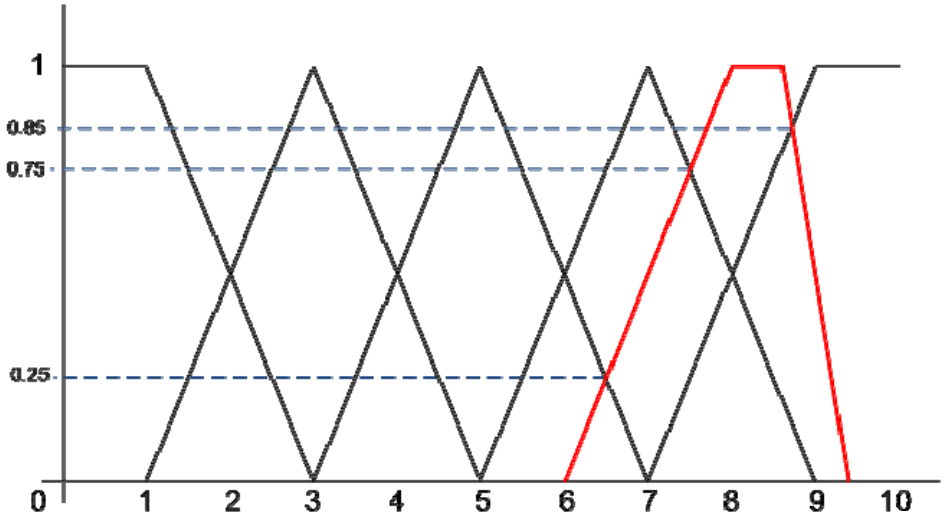
У табели 1 приказан је резултат обраде података након првог круга испитивања експерата за критеријум *изводљивост*. На идентичан начин обрађују се подаци и за остале критеријуме.

Табела 1: Резултати обраде података након првог круга испитивања

Експерт E_i	w_i	**O_{i1} (интензитет утицаја)**	a_{i1}	b_{i1}	c_{i1}	d_{i1}	$w_i \cdot a_{i1}$	$w_i \cdot b_{i1}$	$w_i \cdot c_{i1}$	$w_i \cdot d_{i1}$
Експерт 1	0,10	VH	7	9	10	10	0,70	0,90	1,00	1,00
Експерт 2	0,10	VH	7	9	10	10	0,70	0,90	1,00	1,00
Експерт 3	0,02	VH	7	9	10	10	0,14	0,18	0,20	0,20
Експерт 4	0,02	H	5	7	7	9	0,10	0,14	0,14	0,18
Експерт 5	0,02	VH	7	9	10	10	0,14	0,18	0,20	0,20
Експерт 6	0,10	H	5	7	7	9	0,50	0,70	0,70	0,90
Експерт 7	0,10	VH	7	9	10	10	0,70	0,90	1,00	1,00
Експерт 8	0,05	M	3	5	5	7	0,15	0,25	0,25	0,35
Експерт 9	0,05	VH	7	9	10	10	0,35	0,45	0,50	0,50
Експерт 10	0,02	VH	7	9	10	10	0,14	0,18	0,20	0,20
Експерт 11	0,10	VH	7	9	10	10	0,70	0,90	1,00	1,00
Експерт 12	0,05	VH	7	9	10	10	0,35	0,45	0,50	0,50
Експерт 13	0,05	H	5	7	7	9	0,25	0,35	0,35	0,45
Експерт 14	0,10	M	3	5	5	7	0,30	0,50	0,50	0,70
Експерт 15	0,02	VH	7	9	10	10	0,14	0,18	0,20	0,20
Експерт 16	0,05	H	5	7	7	9	0,25	0,35	0,35	0,45
Експерт 17	0,05	VH	7	9	10	10	0,35	0,45	0,50	0,50
$\sum$	1,00	**$W_{(O'sr)}$ = 0.63**	O_{sr} (a^w_{sr}, b^w_{sr}, c^w_{sr}, d^w_{sr}) =				**6,0**	**8,0**	**8,6**	**9,3**

С обзиром да O_{sr}, у општем случају, није у потпуности подударан fuzzy број ни са једним fuzzy бројем са скале за фазификацију лингвистичких израза, ради лингвистичке интерпретације мишљења групе експерата, као средња вредност одговора групе експерата прихваћен је онај fuzzy број O'_{sr}, односно њему одговарајући лингвистички израз, који је у највећој мери подударан са O_{sr}.

Да би се утврдила подударност O_{sr} са неким од fuzzy бројева са скале анализирана је сличност посматраних fuzzy бројева (Слика 3). У том смислу, за лингвистички израз који репрезентује мишљење групе експерата о утицају одређеног критеријума, прихваћен је онај израз чији fuzzy приказ O'_{sr} има пресек са O_{sr}, са највећом висином, тј. са највећом вредношћу степена припадности [6].



Слика 3: Висина пресека fuzzy бројева O_{sr} и O'_{sr}

$$\max\left[\mu_{O'_{sr}\cap O_{sr}}\right], \text{ где је } O'_{sr} \in \left\{O_{VL,} O_{L,} O_{M,} O_{H,} O_{VH}\right\}$$
$$\max\left[\mu_{O'_{sr}\cap O_{sr}}\right] = \mu_{O_{VH}\cap O_{sr}} = 0,85 \tag{5}$$

У конкретном случају највећи степен подударности је са fuzzy бројем чији лингвистички еквивалент представља израз *врло висок*. При томе, тежински коефицијент, као лингвистички израз средње вредности одговора групе експерата, представља збир тежинских коефицијената (w_i) експерата E_i чија је процена била *врло висок* и износи 0,63.

$$W_{(O'_{sr})} = \sum w_i^* = 0,63 \tag{6}$$

Поступак истраживања циклично се понавља, све док средње вредности одговора групе експерата из два узастопна циклуса не постану „разумно блиске". У конкретном случају, као критеријум достизања „стабилности" одговора експерата постављен је услов да сума тежинских коефицијената експерата који су у последњем циклусу испитивања променили своју процену, у односу на претходни циклус, буде мања од ε = 0,15 [4].

Након другог круга истраживања добијени резултати показали су потребан степен стабилности у ставовима експерата, с обзиром да је O_{sr} = (6.2; 8.2; 8.9; 9.5), односно да је задовољен критеријум стабилности у мишљењима експерата:

$$\Delta W = \sum w_i^* = 0,12 < 0,15 \tag{7}$$

На основу тога, као средње мишљење групе експерата о интензитету критеријума *изводљивост* прихваћен је израз *врло висок*.

Када је утврђен интензитет утицаја сваког од критеријума приступило се одређивању тежинских коефицијената критеријума. Тежински коефицијенти критеријума добијени су нормализацијом тежина на следећи начин:

$$W_k = \frac{w_k}{\sum_{k=1}^{K} w_k} \tag{8}$$

где је: W_k – тежински коефицијент критеријума,
w_k - тежински коефицијент средњег одговора групе експерата,
k – ознака критеријума.

Коначан резултат утврђивања тежинских коефицијената критеријума приказан је у табели 2.

Табела 2. Тежински коефицијенти критеријума

Редни број	Критеријум	Тежински коефицијент (W_k)
1.	Функционалност	0.226
2.	Изводљивост	0.255
3.	Трошкови имплементације	0.125
4.	Флексибилност	0.288
5.	Ризик имплементације	0.106

5. ЗАКЉУЧАК

Методе вишекритеријумског одлучивања имају широку примену у различитим сферама живота, науке и струке. Постоји велики број развијених метода вишекритеријумског одлучивања, а свака од њих има за циљ да доносиоцу одлуке помогне при решавању комплексних проблема.

Одређивање тежина критеријума један је од кључних проблема који се јавља у моделима вишекритеријумске оптимизације. Додељивање тежинских коефицијената критеријумима користи се у свим моделима вишекритеријумског одлучивања, а резултат вредновања у великој мери зависи од њих. Узимајући у обзир чињеницу да тежине критеријума могу значајно утицати на резултат процеса одлучивања, јасно је да се посебна пажња мора посветити објективности тежина критеријума, што није увек присутно код решавања практичних проблема.

При решавању реалних проблема, критеријуми најчешће немају исти степен значајности, па је потребно да доносилац одлуке дефинише факторе значајности појединих критеријума користећи одговарајуће тежинске коефицијенте или пондере за критеријуме. Када је збир тежинских коефицијената свих критеријума једнак јединици, онда се каже да су то нормализоване тежине и као такве користе се у моделима вишекритеријумске оптимизације.

У раду је, за утврђене критеријуме, ради објективнијег одређивања њихових тежинских коефицијената примењена fuzzy Delphi метода. Ангажовањем експерата и применом fuzzy Delphi методе умањује се субјективност доносиоца одлуке у процесу вишекритеријумског одлучивања.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Љубојевић С.: Модел процеса одлучивања органа саобраћајне подршке система одбране, магистарски рад, Саобраћајни факултет, Београд, 2010.

[2] Димић, С.: Стратегијско управљање транспортом у систему одбране Републике Србије, докторска дисертација, Војна академија, Београд, 2016.

[3] Starowitz W., Коларић Н.: Прогнозирање и планирање транспорта методама експерата, део I, II, III, Железнице 5/86, 7/86, 12/86.

[4] Памучар, Д.: Дизајнирање организационе структуре управних органа логистике коришћењем fuzzy приступа, докторска дисертација, Војна академија, Београд, 2013.

[5] Bojadziev, G., Bojadziev, M.: Fuzzy Logic for Business, Finance and Management, Hackensack, NJ: Word Scientific, Singapore, 2007.

[6] Ros, R., L. de Mantaras, R., Sierra, C., Arcos, J.L., „A CBR system for autonomous robot navigation”, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 131, 299 – 306, 2005.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ИЗБОР НАЈБОЉЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ АНАЛИТИЧКОГ ХИЈЕРАРХИЈСКОГ ПРОЦЕСА

CHOOSING THE BEST DOCTORAL DISSERTATION IN THE MINISTRY OF DEFENCE AND SERBIAN ARMED FORCES USING METHODS ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

ЗОРАН М. МАЧАК[1], АЛЕКСАНДАР ИЛИЋ[2]

[1] Министарство одбране Републике Србије, zoran.macak@mod.gov.rs
[2] Министарство одбране Републике Србије, aleksandar.ilic@ mod.gov.rs

Резиме: *Метода аналитичких хијерархијских процеса (АХП) представља математичку методу која се последњих деценија успешно примењује у решавању проблема из многих области. Метода је базирана на принципу вишекритеријумског одлучивања, који подразумева да се на основу дефинисаног броја критеријума за одлучивање из једне расположиве групе алтернатива бира најповољнија.*
У раду је презентована могућа примена АХП метода у поступку избора најбоље докторске дисертације у Министарству одбране и Војсци Србије.

Кључне речи: *Вишекритеријумско одлучивање, АХП метода, најбоља докторске дисертација.*

Abstract: *Analytical hierarchy processes method (AHP) is a mathematical method which has been successfully applied in solving problems in many areas for several last decades. The method is based on the principle of multi-criteria decision making, which implies that on basis of a specified number of selection criteria, the best one is chosen from a selected group.*
This paper presents possible use of AHP method in the selection of the best doctoral dissertation in the Ministry of Defense and Serbian Armed Forces.

Keywords: *Multi-criteria decision making, AHP method, the best doctoral dissertation.*

1. УВОД

У оквиру обележавања Дана Војске Србије, од 2006. године се спроводи процедура избора и доделе годишње награде за најбоље научноистраживачке радове (научноистраживачки пројекат, докторску дисертацију и магистарски рад) у Министарству одбране и Војсци Србије.

Одлуку доноси вишечлана Комисија. Како је коначна одлука базирана на појединачним одлукама сваког члана, неминовна је потреба изналажења механизама којим ће доносилац одлуке анулирати непожељан субјективни приступ, односно објективно одлучити. Најобимнији део процеса избора најбољих радова тиче се одлучивања о најбољој докторској дисертацији, на шта се фокусира овај рад.

Метода аналитичког хијерархијског процеса (АХП) је обликована тако да на задовољавајући начин може да превазиђе већину карактеристичних проблема који се јављају у процесу одлучивања попут великог броја критеријима и несамерљивих (неупоредивих) јединица мере (Чупић и Сукновић 2010). Метода омогућава да се код сложених проблема са много критеријума и алтернатива лакше нађу релације између утицајних фактора и одреди степен тежине једног фактора у односу на други. Проблем велике сложености разлаже се на хијерархију, уз разрађене методе очувања објективности (конзистентности).

Тежња да се применом доказане методе вишекритеријумског одлучивања, објективизује процес избора најбоље докторске дисертације у Министарству одбране и Војсци Србије вишеструко је корисна. Применом АХП методе смањује се ризик од погрешне одлуке и њених негативних последица, доприноси се стимулисању квалитета, указује на могућност примене на сличне изборе у другим научним и образовним установама, доприноси се развоју теорије одлучивања и повећава фонд укупног знања о теорији одлучивања.

2. ОПИС ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА

Организација је цивилизацијска тековина, настала из потребе да се колективним радом постигне оно што не може индивидуалним. Потреба да се поклони пажња оним делатницима који својим радом афирмишу организацију у којој су запослени, односно да организација стимулише најбоље, препозната је и у војноорганизационим системима. У почетку се стимулисање односило на испољене вештине, но у савременим одбрамбеним структурама препознаје се и значај знања, које се са правом посматра као централни ресурс продуктивности, али и „мач са двосеклом оштрицом“, који злоупотребом постаје централни ресурс разорности (Тофлер 1998).

Министарство одбране и Војска Србије је организација која, у циљу подстицања научноистраживачког рада, од средине прве деценије 21. века, посебну пажњу поклоња својим припадницима који својим научним радом значајније доприносе јачању способности система наше одбране. Према доступним подацима избор најбољих научних радова, најчешће се врши локално у образовним установама, а нешто шири обухват примењује Привредна комора Београда. Нема података да се, сем у Министарству одбране и Војсци Србије, избор врши на државном нивоу. Коначна одлука о најбољим научноистраживачким радовима (бира се научноистраживачки пројекат, докторска дисертација и магистарски рад) поверена је експертима - истакнутим научним радницима из Министарства одбране и Војске Србије који су чланови специјализоване Комисије. Сви експерти су равноправни а одлука је резултат процеса групног одлучивања без претходног консензуса. Начин на који се тренутно бирају најбољи научноистраживачки радови, нормативно је регулисан „Одлуком министра одбране о условима додељивања годишње награде за најбољи научноистраживачки пројекат, докторску дисертацију и магистарски рад у Министарству одбране и Војсци Србије“. Суштина избора је да се предложени радови бодују у зависности од броја, на тај начин да сваки члан Комисије додељује бодове у распону од *1 до n*, где *n* представља укупан број радова (алтернатива). Доносилац одлуке раду који је, према његовој анализи најбољи (његова појединачна одлука), додељује *n* бодова, следећем рангираном *n - 1* бодова и тако до рада ког сматра најнеприхватљивијом алтернативом ком додељује 1 бод. Појединачни бодови се сабирају а најбоља дисертација је она чији је збир додељених бодова највећи.

У раду Комисије присутан је сталан ризик од погрешног избора јер:

- Нису одређени јасни и недвосмислени критеријуми за избор, нити исказан степен њихове важности и
- Радови су из различитих научних поља (друштвено хуманистичко, техничко-технолошко и медицинско), а члан Комисије условно је компетентан за само једно научно поље.

Иницијативе да се награде додељују за најбоље радове у свим научним пољима, као и да се наизменично одређује из које ће области бити награђен поједини рад, нису подржане од надлежних инстанци у Министарству одбране и Војсци Србије.

У условима наведеног ризика, члан Комисије мора одлучити. Анализирајући бројна појмовна одређења одлучивања, Чупић и Сукновић наводе да је одлучивање избор једне, из скупа могућих алтернатива (акција) при чему у скупу морају постојати најмање две алтернативе (Чупић и Сукновић 2010). Умеће доносиоца одлуке је да изабере одлуку са више позитивних, а мање негативних ефеката од било које друге одлуке.

3. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА

При решавању било које ситуације, од једноставне до изразито конфликтне, доносилац одлуке у почетку мора постати свестан проблема и што јасније га омеђити и дефинисати. У конкретном случају за поставку проблема битно је:

- Члан Комисије има довољно времена за анализу - материјал му се доставља правовремено.
- Члан Комисије има обавезу поступања према нормативно – правној регулативи.

Поменута Одлука министра наводи три критеријума и то: **К1)** оригинални научни допринос; **К2**) публиковане радове проистекле из дисертације (по подацима о категорији научних публикација) и **К3**) процену значаја рада за Министарство одбране и Војску Србије (могућност примене резултата). Најлакше се квантификује критеријум о публикованим радовима, који је посебно значајан уколико при групној одлуци две дисертације имају исти број бодова.

- Постоји велики степен сагласности чланова Комисије да уз наведене критеријуме у обзир треба узети и: **К4**) могућу примену резултата изван Министарства одбране и Војске Србије и **К5**) самосталност у раду.

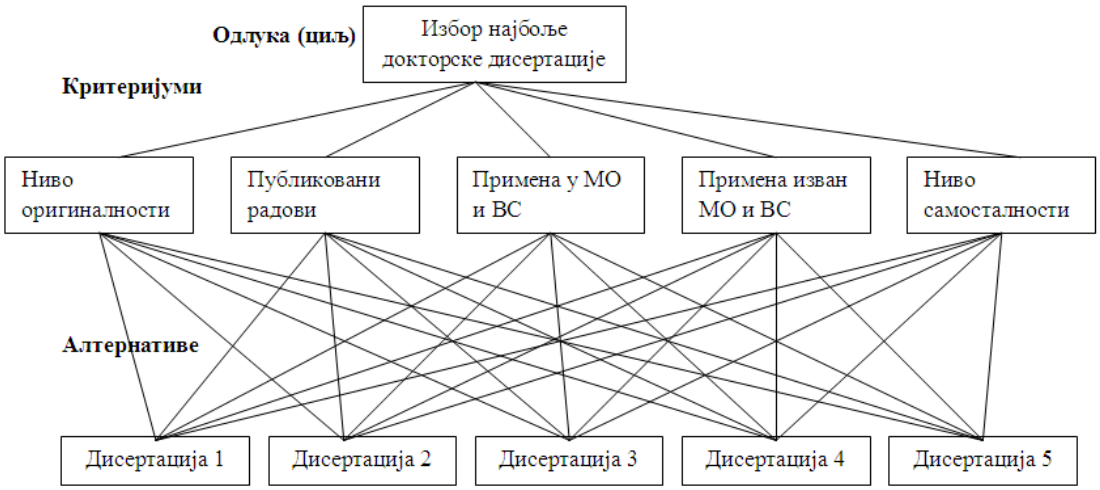
Критеријуми имају својство универзалности коришћења како би омогућили експерту у медицинским наукама да у прихватљивој мери објективно анализира рад из техничко - технолошког поља.

Пред чланом Комисије је доношење одлуке (избора) о најповољнијој алтернативи из скупа више алтернатива, уз коришћење више критеријума, као и рангирање алтернатива ради доношења групне одлуке. Како тренутно постоје ограничења за промену начина групног одлучивања, доносиоца одлуке ништа не спутава да унапреди начине доношења властите одлуке. Рад указује да је унапређење могуће употребом АХП методе код које је: 1) заступљено математичко-логичко расуђивање - **А**нализа, 2) проблем одлучивања структуира се у нивое - доносилац одлуке се концентрише на мање низове одлука (творац АХП методе Сату често указује су познате Милерове експерименте из психологије према којим људи могу поредити 7±2 ствари или појма истовремено) - **Х**ијерархија и 3) метода је поступна и траје (**П**роцес).

У посматраном примеру проблем се може дефинисати на следећи начин: *У улози члана Комисије, извршити избор оптималног решења у скупу алтернатива (одлучити која је дисертација најбоља) и рангирати алтернативе, уважавајући постојеће стање и законитости примене АХП методе.*

4. РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА

Како је АХП метода математичка метода јасно су дефинисани кораци у њеној примени (Saaty 1990, Saaty 2008, Saaty and Sodenkamp 2008). У почетку се структурира проблем:



Слика 1: Структуирање проблема избора најбоље докторске дисертације

На овај начин развијен је хијерархијски модел проблема одлучивања с циљем на врху, атрибутима на нижој разини (пет критеријума) и атрибутима на дну модела (пет могућих). У претходном периоду број дисертација исказивао се једноцифреним бројем. Ради тенденције пораста, ради потребних израчунавања препоручује се коришћење система за подршку одлучивају, попут *Expert Chois-a.*

Наредни кораци подразумевају упоређење атрибута на различитим нивоима и одређивања њихових важности (приоритетности), ради постизања циља, односно избора оптималне алтернативе. У литератури (Saaty 1980, Saaty 1990, Saaty 2008, Saaty and Sodenkamp 2008, Чупић и Сукновић 2010) су детаљно разрађени алгоритми решавања (матрице), скале поређења (Сатијева скала девет тачака), аксиоми који притом важе (нпр. реципрочност) и у овом раду неће се посебно објашњавати.

Значајан утицај на резултате приликом примена метода вишекритеријумског одлучивања испољавају релативне тежине критеријума који се могу одредити субјективним (експертским, интуитивним) и објективним (математичким) приступом - видети Милићевић и Жупац (2012).

У наведеном случају упоређење атрибута је урађено субјективним приступом на основу информација и високог степена сагласности 8 експерата (чланова Комисије) који су већ одлучивали о најбољим дисертацијама.

Табела 1: Упоређење атрибута на првом нивоу (критеријуми одлучивања).

	K1	***K2***	***K3***	***K4***	***K5***
K1	1	1/3	1/4	1	1/3
K2	3	1	1/2	2	1
K3	4	2	1	3	2
K4	1	1/2	1/3	1	1/2
K5	3	1	2	1/2	1

Израчунате тежине критеријума су *w1 = 0.083 , w2 = 0.211,* ***w3 =0.361****, w4 =0.101 i w5 = 0.244.*

Једна од потврђених предности АХП методе је могућност оцене објективности (конзистентности) доносиоца одлуке, преко индекса (***CI***) и степена конзистентности (***CR***). То подразумева да се на следећи корак прелази када је ***CR ≤ 0,1.*** Анализа конзистентности базира је следећим математичким поставкама:

$$CI = (\lambda \max - n)/(n - 1) \tag{1}$$

Величину матрице поређења исказује *n, а* максималну и главну особину вредности коефицијент λ_{max} :

$$\lambda \max = 1/n \sum_{i=1}^{n} \lambda i \tag{2}$$

Степен конзистентности (CR) је однос индекса конзистентности (CI) и случајног индекса (RI):

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{3}$$

Случајни индекс (RI) је константа дефинисана у односу на ред матрице. Вредности му се преузимају из табеле (Saaty 1980), а у конкретном случају за матрицу са пет редова износи RI = 1,12.

По потврди конзистентности на првом нивоу (*CR=0,08 <0,1)*, упоређују се атрибути из трећег нивоа за сваки критеријум. Матрице упоређења релативне важности алтернатива за сваки критеријум, тежине критеријума и односи конзистентности су:

Табела 2: Матрица важности алтернатива у односу на критеријум К1 (ниво оригиналности)

	Д1	***Д2***	***Д3***	***Д4***	***Д5***
Д1	1	1/2	1/3	1	2
Д2	2	1	2	2	3
Д3	3	1/2	1	1/2	2
Д4	1	1/2	2	1	2
Д5	1/2	1/3	1/2	1/2	1

w1 = 0.154, **w2 = 0.334**, w3 = 0.211, w4 = 0.211 i w5 = 0.090; CR= 0,05 <0,1

Табела 3: Матрица важности алтернатива у односу на критеријум К2 (публиковани радови)

	Д1	***Д2***	***Д3***	***Д4***	***Д5***
Д1	1	1/2	1/3	1/2	1/6
Д2	2	1	2	3	1/3
Д3	3	1/2	1	2	1/4
Д4	2	1/3	1/2	1	1/5
Д5	6	3	4	5	1

w1 = 0.067, w2 = 0.203, w3 = 0.148, w4 = 0.092 i **w5 = 0.490**; CR= 0,04 <0,1

Табела 4: Матрица важности алтернатива у односу на критеријум К3 (примена у МО и ВС)

	Д1	***Д2***	***Д3***	***Д4***	***Д5***
Д1	1	1/2	1/5	1/4	2
Д2	2	1	1/6	1/5	2
Д3	5	6	1	2	7
Д4	4	5	1/2	1	6
Д5	1/2	1/2	1/7	1/6	1

w1 = 0.080, w2 = 0.097, **w3 = 0.460**, w4 = 0.313 i w5 = 0.050; CR= 0,03 <0,1

Табела 5: Матрица важности алтернатива у односу на критеријум К4 (примена изван МО и ВС)

	Д1	***Д2***	***Д3***	***Д4***	***Д5***
Д1	1	1/3	1/3	1/5	1/2
Д2	3	1	1	1/3	2
Д3	3	1	1	1/3	2
Д4	5	3	3	1	4
Д5	2	1/2	1/2	1/4	1

w1 = 0.067, w2 = 0.185, w3 = 0.185, **w4 = 0.456** i w5 = 0.108; CR= 0,01 <0,1

Табела 6: Матрица релевантне важности алтернативе у односу на критеријум К5 (ниво саосталности)

	Д1	*Д2*	*Д3*	*Д4*	*Д5*
Д1	1	1/7	1/4	1/3	1/5
Д2	7	1	3	4	2
Д3	4	1/3	1	2	1/2
Д4	3	1/4	1/2	1	1/3
Д5	5	1/2	2	3	1

w1 = 0.047, **w2 = 0.425**, w3 = 0.163, w4 = 0.103 i w5 = 0.262; CR= 0,02 <0,1

На крају поступака врши се свеукупна синтеза тако што се све алтернативе помноже са тежинама појединих критеријума одлучивања, а резултати сумирају. Алтернатива која тако добије највећу вредност је оптимална алтернатива, односно прворангирана. На бази вредности осталих алтернатива одређује се и њихов поредак. Завршни поступак примене АХП методе је приказан у Табели 7:

Табела 7: Табела избора и ранга

Крите-рij	Тежина крит.	Д1	Тежина х Д1	Д2	Тежина х Д2	Д3	Тежина х Д3	Д4	Тежина х Д4	Д5	Тежина х Д5
К1	*0,083*	0,154	0,0128	0,334	0,0277	0,211	0,0175	0,211	0,0175	0,090	0,0075
К2	*0,201*	0,067	0,0135	0,203	0,0408	0,148	0,0297	0,092	0,0185	0,490	0,0985
К3	*0,361*	0,080	0,0289	0,097	0,0350	0,460	0,1661	0,313	0,1130	0,050	0,0180
К4	*0,101*	0,067	0,0068	0,185	0,0187	0,185	0,0187	0,456	0,0461	0,108	0,0109
К5	*0,244*	0,047	0,0115	0,425	0,1037	0,163	0,0398	0,103	0,0251	0,262	0,0639
∑			0,0734		0,2259		**0,2718**		0,2202		0,1988
Ранг			5.		2.		**1.**		3.		4.

5. ЗАКЉУЧАК

Код вишекритеријумског одлучивања због конфликтности критеријума нема савршеног решења, већ се тежи постићи најприхватљивије. Током вишедеценијског постојања, метода Аналитичког хијерархијског процеса се у многим подручјима примене показала као поуздана параметарска метода за доношење управо најприхватљивијих одлука.

У раду је приказан начин на који доносилац одлуке (равноправан, једнако важан члан Комисије) може применити АХП методу при одлучивању о најбољим научним радовима у Министарству одбране и Војсци Србије, конкретно о најбољој докторској дисертацији. Поред избора најбољег научноистраживачког пројекта и све ређег најбољег магистарског рада, у предметној области, као подручја за даља научна истраживања, намећу се јасније дефинисање критеријума, објективније одређивање њихових важности и, као круна свега, унапређење механизма групног одлучивања. У свему наведеном ретко који аутор ће моћи игнорисати потребу коришћења методе Аналитичког хијерархијског процеса, било као самосталне методе, или у комбимацији са другим методама које се користе код вишекритеријумског одлучивања.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Чупић, М., Сукновић, М. (2010). Одлучивање. Београд: Факултет организационих наука.

[2] Милићевић, М., Жупац, Г., (2012). Објективни приступ одређивању тежине критеријума. Београд: Војнотехнички гласник, Vol LX, No 1, 39-56.

[3] Одлука о условима додељивања годишње награде за најбољи научноистраживачки пројекат, докторску дисертацију и магистарски рад у Министарству одбране и Војсци Србије, (2012). Београд: „Службени војни лист“ бр. 23/12 и 08/15.

[4] Saaty, T.L. (1980). Analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.

[5] Saaty, T.L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. Int. J. Services Sciences, 1(1), 83-98.

[6] Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. Eropian Journal of Operational Research, 48, 9-26.

[7] Saaty, T.L., Sodenkamp M. (2008). Making decisions in hierarchic and network systems. Int. J. Applied Decision Sciences, Vol. 1, No. 1, 24-79.

[8] Тофлер, А., (1998). Рат и антират. Београд: Паидела.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ПРЕДВИЂАЊЕ БУДУЋИХ ПЕРФОРМАНСИ СЛОЖЕНИХ БОРБЕНИХ СИСТЕМА

THE PREDICTION OF FUTURE PERFROMANCES OF COMPLEX COMBAT SYSTEMS

МИЛАН КАНКАРАШ[1], ДАЛИБОР ПЕТРОВИЋ[2], ИВАН ПЕТРОВИЋ[3]

[1] Министарство одбране, Управа за стратегијско планирање, kankaras.milan@outlook.com.rs
[2] Министарство одбране, Управа за стратегијско планирање, dalibor.petrovic@mod.gov.rs
[3] Министарство одбране, Универзитет у одбрани, ivanpetrovic1977@gmail.com

Резиме: *Сврха постојања система одбране јесте заштита одбрамбених интереса. Основна претпоставка испуњења очекивања, односно смисла постојања јесу способности система одбране. Одржавањем и сталним унапређењем потребних способности обезбеђује се правовремено прилагођавање система одбране промењљивим условима окружења. Један од фактора који утиче на промену услова окружења јесте и развој перформанси сложених борбених система. Праћење и предвиђање развоја тих перформанси значајно је за планирање будућих способности система одбране ради адекватног одговора на изазове, ризике и претње безбедности. Предвиђање будућег развоја перформанси сложених борбених система је сложен и одговоран процес у којем се тежи изради модела који ће омогућити поуздане процене будућих могућности сложених борбених система. У раду је приказана могућност израде математичког модела заснованог на историјским подацима о перформансама сложених борбених система. Конкретна решења представљају визију аутора до које се дошло на основу резултата истраживања.*

Ključne reči: *предвиђање, анализа временског низа, тренд, модел.*

Abstract: *The purpose of the defence is protection of defence interests. The basic presumption to carry out of expectations is the defence capabilities. By maintaining and continually improving the necessary capabilities, a timely adaptation of the environment protection environment is ensured. One of the factors affecting the changing environment conditions is the development of the performance of complex combat systems. Monitoring and predicting the development of these performances is important for planning the future defence capabilities in order to adequately respond to challenges, risks and threats to security. The prediction of the future development of the performance of complex combat systems is a complex and responsible process. That process enables development of a reliable model to estimate the future possibilities of complex combat systems. The paper presents the possibility of developing a mathematical model based on historical data on the performances of complex combat systems. The solutions are based on the results of the research and represent the vision of the author.*

Keywords: *prediction, time series analysis, trend, model.*

1. УВОД

Савремени систем одбране суочава се са брзим променама фактора окружења. Успешно прилагођавање тим променама, између осталог, директно зависи од предвиђања будућих промена фактора окружења, њиховог утицаја на систем одбране, као и способности предузимања мера ради прилагођавања тим променама.

Једна од мера које систем одбране предузима јесте и опремање савременим борбеним системима. Развој тих система усмерен је ка развоју њихових перформанси, односно повећање њихове ефикасности и ефективности. Међутим, перформансе се не развијају равномерно. Развој појединих перформанси је бржи, док се поједине перформансе смањују.

Ради унапређења способности и прилагођавања система одбране будућим условима окружења, потребно је анализирати и предвиђати будући развој борбених система њиховог утицаја на систем одбране. У теорији и пракси постоји више различитих метода за предвиђање будућих догађаја, а у овом раду примењена је анализа временског низа. Та метода је примењена на примеру предвиђања

будућег развоја кључних перформанси лета борбених авиона на основу историјских података пет технолошких генерација.

У раду су описане теоријске основе предвиђања и анализе временског низа, а основни циљ био је приказа могућности примене анализе временског низа и израде математичког модела који ће омогућити поуздано предвиђање будућег развоја сложених борбених система.

2. ПРЕДВИЂАЊЕ

Будући догађаји, посебно са аспекта одбране, врло често су неизвесни. Ради смањења те неизвесности и омогућавања рационалне акције организације праве одређене претпоставке о дешавањима у будућности. Тај процес стварања претпоставки или процена о будућим догађајима представља предвиђање (Вујошевић 1997).

У том процесу разматрају се различите варијабле које могу бити потпуно случајне (организација нема никакву контролу), делимично случајне или предвидиве (организација има потпуну контролу). Предвиђање је управо усмерено на случајне варијабле, односно на уочавање законитости у променама тих варијабли у прошлости и пројекцију тих промена у будућности.

Предвиђање има значајну улогу у планирању и предуслов је за доношење одлука и израду планова. С обзиром на то да се у процесу предвиђања користе историјски подаци и врши просуђивање будућности на основу уочених законитости из прошлости, може се рећи да је предвиђање комбинација статистичке прогнозе и стручне процене.

У том смислу, развијено је више различитих метода које, у односу на временски период за који се предвиђа, могу бити краткорочне, средњорочне и дугорочне, а у односу на информације које се користе могу бити квантитативне и квалитативне. Квалитативне методе заснивају се на проценама и стручним мишљењима (Вујошевић 1997).

Квантитативне методе користе историјске статистичке податке као улазне и могу бити пројективни и каузални. Једна од квантитативних метода која се користи за предвиђање јесте анализа временског низа.

3. АНАЛИЗА ВРЕМЕНСКОГ НИЗА

Под временским низом подразумева се уређени низ опсервација, који се најчешће уређује у односу на време и у једнаким временским интервалима. Анализа временског низа спроводи се ради описа кључних карактеристика низа, објашњења узрока настанка посматраних временских низова, предвиђања будућих вредности низа, али и контроле одређених догађаја (Ковачевић 1995).

Према природи посматране појаве временски низ може бити непрекидни и прекидни, а најбоље се уочава на графичком приказу, што уједно представља и први корак у анализи временског низа. Графички приказ омогућава уочавање колебања временског низа, која могу да се сврстају у четири основне категорије: дугорочна, циклична, сезонска и нерегуларна (Хаџивуковић 1989).

Дугорочна колебања или тренд, односно низ теоријских тачака кроз које би посматрана појава пролазила да није било утицаја на посматрану појаву. Тренд практично показује опште понашање појаве у дужем временском периоду (више од десет године) и представља се непрекидном кривом линијом која најчешће опада или расте, а готово никада је хоризонтална права линија. Испитивање тренда најчешће се реализује ради предвиђања будућег правца развоја посматране појаве.

Циклична колебања јесу дугорочна колебања око линије тренда и углавном су резултат пословних циклуса који се састоје од више различитих фаза (просперитет, рецесија, депресија, опоравак). С обзиром на то да на пословни циклус утичу бројни фактор, временско трајање није идентично и правилно, те је предвиђање таквих колебања отежано и недовољно поуздано.

Сезонска колебања представљају колебања око линије тренда која се углавном појављују у одређеним временским периодима. Та колебања релативно лако се уочавају и предвиђају.

Нерегуларна колебања, као што и сам назив указује, појављују се без одређеног правила. Ту врсту колебања немогуће је предвидети ни по времену, ни по смеру деловања, ни по интензитету деловања.

Имајући у виду комплексност анализе временског низа, у раду је разматран само тренд, као једна од компоненти временског низа. Тренд посматране појаве могуће је утврдити графички или израчунавање. Графички метод је једноставнији и бржи, а тренд се представља правом или кривом линијом на линијском графикону оригиналних података. Та линија треба да буде што више прилагођена оригиналним подацима.

За утврђивање тренда израчунавањем, најчешће се користе два метода: метод покретних просека и метод најмањих квадрата. Метода покретних просека ублажава краткорочне осцилације и омогућава

утврђивање основне тенденције развоја посматране појаве. Најпоузданији начин за утврђивање тренда јесте математичка функција која се прилагођава подацима посматране појаве и најчешће се изражава једначинама првог и квадратног степена (Хаџивуковић 1989).

Примена конкретне методе зависи од нивоа тачности који се жели постићи, али и од врсте података о посматраној појави. У овом раду разматрана је могућност примене анализе тренда за предвиђање будућег развоја перформанси сложених борбених система на примеру ловачког авиона.

4. ПРЕДВИЂАЊЕ БУДУЋЕГ РАЗВОЈА ПЕРФОРМАНСИ БОРБЕНИХ АВИОНА

Развој савремених (млазних) ловачких авиона започео је средином XX века, а на основу њихове борбене ефикасности и примене технологије разврстани су у генерације. Основна карактеристика сваке генерације ловачких авиона јесте унапређен погон, опрема, наоружање, маневарске способности и слично, једном речју перформансе.

С обзиром на то да су перформансе ловачких авиона бројне, у раду су анализиране само кључне перформансе лета: плафон лета (изражен у m), максимална брзина (изражена у km/h), брзина пењања (изражена у m/s) и крајњи долет (изражен у km). Имајући у виду бројне ловачке авионе у свакој генерацији, а ради практичне употребе података о перформансама, за потребе истраживања коришћене су просечне вредности посматраних перформанси за сваку генерацију. Просечне вредности израчунате су применом израза 1.

$$\bar{p}_j = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} p_j \qquad (1)$$

где је:

$\bar{p}_i$ – *просечна вредност перформансе генерације ловачких авиона;*

p –вредност перформансе ловачког авиона;

j – генерација ловачких авиона и

n – укупан број генерација ловачких авиона.

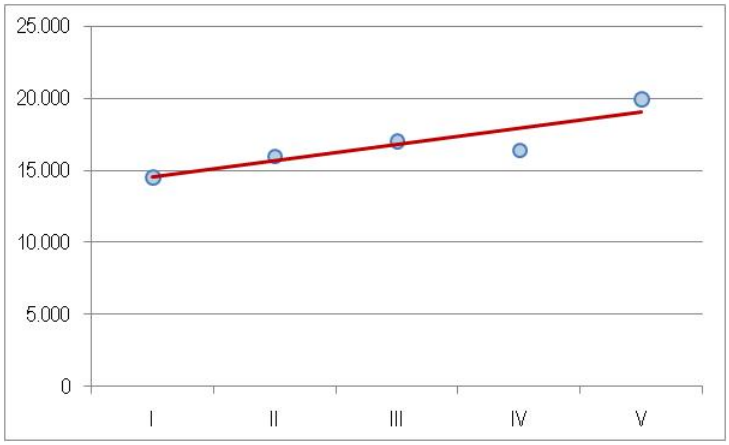
Применом израза 1, а на основу података о вредностима перформанси ловачких авиона израчунате су просечне вредности перформанси за сваку генерацију и приказане у табели 1.

Табела 1: Просечне вредности перформанси по генерацијама ловачких авиона

Перформанса	Генерација ловачких авиона				
	I	II	III	IV	V
Плафон лета (m)	14.530	16.000	17.050	16.420	20.000
Максимална брзина (km/h)	1.040	1.702	2.035	2.296	2.410
Брзина пењања (m/s)	35,78	146,58	192,50	247,75	350,00
Крајњи долет (km)	2.476	2.701	3.150	4.003	3.220

Предвиђање будућег развоја кључних перформанси лета ловачких авиона извршено је у четири корака: графичко утврђивање линије тренда и облика зависности, одређивање математичког модела тренда (израчунавање једначине тренда), оцена репрезентативности математичког модела и предвиђање будућих вредности посматраних перформанси.

На основу података о просечним вредностима перформанси утврђени су трендови за сваку појединачну перформансу. У првом кораку израђен је графички приказ посматране перформансе у односу на временски период (генерације ловачких авиона), а ради уочавања тренда, односно криве која најбоље описује облик зависности (линеарна, експоненцијална, логаритамска и слично). Линија тренда плафона лета графички је приказана на слици 1.



Слика 1: Линија тренда перформансе *плафон лета*

Као што се види, на основу историјских података о плафону лета ловачких авиона свих генерација, зависност те перформансе од временског периода најбоље може да се опише линеарном кривом. У другом кораку утврђена је математичка функција тренда, а полазна основа била је општа једначина (израз 2) (Ман 2009).

$$Y_t = a \pm bX_t \pm e_t \tag{2}$$

где је:
Y – зависна варијабла;
X – независна варијабла;
a, b – константни чланови (параметри) и
e_t – случајна компонента.

У конкретном случају зависна варијабла јесу перформансе лета авиона, а независна временска јединица, односно генерација ловачког авиона. Да би се израчунала једначина тренда, утврђене су вредности параметара *a* и *b*. Параметар *a* представља очекивану вредност временског низа у исходишном раздобљу, а параметар *b* регресиони коефицијент (просечна промена перформансе лета за једну генерацију ловачког авиона). Параметар *b* оцењен је применом израза 3 и за перформансу плафон лета износи 1.136.

$$b = \frac{\sum_{t=1}^{n} x_t y_t - \bar{x} \sum_{t=1}^{n} y_t}{\sum_{t=1}^{n} x_t^2 - \bar{x} \sum_{t=1}^{n} x_t} = 1.136 \tag{3}$$

где је:
y – плафон лета једне генерације ловачких авиона;
x – генерација ловачког авиона и
$\bar{x}$ – аритметичка средина генерација ловачког авиона.

На основу вредности параметра *b* може се закључити да је просечна промена плафона лета по генерацији ловачког авиона износила 1.136 метара. Параметар *a* оцењен је применом израза 4.

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 13.392 \tag{4}$$

где је:
$\bar{y}$ – аритметичка средина перформансе плафон лета генерација ловачких авиона.

Имајући у виду да случајна компонента варира у зависности од генерације ловачких авиона (случајна грешка), израз 2 и оцењене вредности параметара *a* и *b*, једначина тренда може се приказати као израз 5.

$$Y = 13.392 + 1.136X \tag{5}$$

Након израчунавања једначине тренда значајно је утврдити могућност те једначине (математичког модела тренда) да објасни кретање перформанси лета борбених авиона кроз време, односно репрезентативност математичког модела. Та репрезентативност оцењена је у четвртом кораку израчунавањем коефицијента детерминације (израз 6) који представља учешће објашњеног варијабилитета у укупном варијабилитету (Ман 2009).

$$r^2 = \frac{SKO}{SKU} \tag{6}$$

где је:
r^2 – коефицијент детерминације,
SKO – објашњен варијабилитет и
SKU – укупан варијабилитет.

Уконкретном случају укупни варијабилитет представља суму квадрата разлике вредности перформансе плафон лета по генерацијама и аритметичке средине плафона лета генерација ловачких авиона (израз 7).

$$SKU = \sum_{t=1}^{n}(y_t - \bar{y})^2 \tag{7}$$

Под објашњеним варијабилитетом подразумева се сума квадрата разлике очекиваних вредности плафона лета по генерацијама и аритметичке средине перформансе плафон лета генерација ловачких авиона (израз 8).

$$SKO = \sum_{t=1}^{n}(\hat{y}_t - \bar{y})^2 \tag{8}$$

где је:
$\hat{y}_t$ – очекивана вредност перформансе плафон лета.

На основу података о вредностима плафона лета борбених авиона и применом израза 6-8 утврђено је да коефицијент детерминације износи 0,794, што значи да је око 80% укупних вредности перформансе плафон лета објашњено променама технологије по генерацијама ловачких авиона, односно једначином тренда. Може се закључити да је математички модел тренда поуздан и омогућава предвиђање развоја перформанси борбених авиона.

С обзиром на то да је математички модел поуздан, у последњем, четвртом кораку извршено је предвиђање вредности перформансе плафон лета који ће имати шеста генерација борбених авиона екстраполацијом тренда. Применом израза 5 очекивана вредност перформансе плафон лета шесте генерације борбених авиона биће преко 20 километара (израз 9).

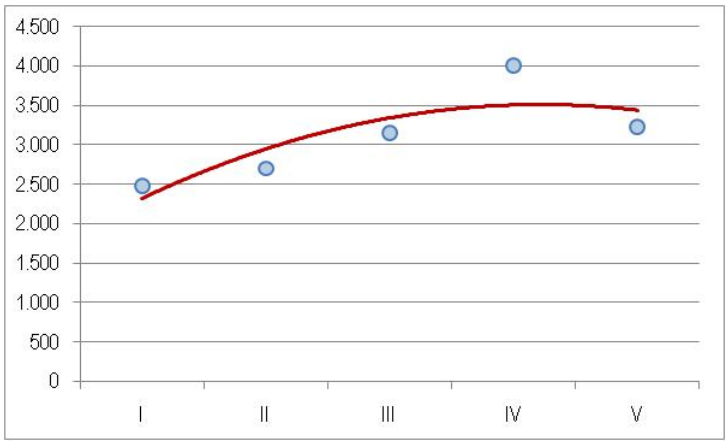
$$\hat{Y}_7 = 13.392 + 1.136 * 6 = 20.208m \tag{9}$$

где је:
$\hat{Y}_7$ – очекивана вредност перформансе плафон лета шесте генерације борбених авиона.

На сличан начин извршено је предвиђање вредности осталих перформанси лета шесте генерације борбених авиона. Поузданост математичког модела за предвиђање перформансе максимална брзина наредних генерација борбених авиона јесте 0,995, а предвиђена максимална брзина шесте генерације, према том моделу, биће око 2.600km/h.

Репрезентативност математичког модела за предвиђање будуће вредности перформансе брзина, такође висока и износи 0,976. На основу резултата математичког модела може се очекивати да ће ловачки авиони шесте генерације достићи брзину пењања од око 400m/s.

Међутим, није увек могуће предвидети будући развој перформанси сложених борбених система на основу историјских података. Један од примера јесте крајњи долет борбених авиона као једна од кључних перформанси лета. У односу на историјске податке тешко је одредити облик зависности крајњег долета у односу на генерације ловачких авиона (Слика 2).



Слика 2: Дијаграм распршености и линија тренда перформансе *крајњи долет*

Као што се види на слици 2 крајњи долет ловачких авиона имао је експоненцијалан тренд раста до четврте генерације, а у петој генерацији приметан је негативан тренд. За цео период посматрања не може се утврдити поуздан ни линеарни (репрезентативност 0,564), ни логаритамски (репрезентативност 0,619) тренд. На слици 2 уочава се да највећи крајњи долет имају ловачки авиони четврте генерације. Линија тренда која највише одговара подацима јесте полиномска и може се изразити математичком једначином (израз 10).

$$Y = 115X^2 + 969{,}5X + 1.467 \tag{10}$$

Коефицијент детерминације износи 0,698, што значи да је непуних 70% вредности крајњег долета објашњено математичким моделом, односно 30% није објашњено и условљени су другим факторима. На основу математичког модела, крајњи долет шесте генерације ловачких авиона био би знатно већи од долета претходних генерација, што савремена технологија и омогућава (композитни материјали смањују масу летелица, што значи да је, са истим моторима и истом количином погонског горива могуће постићи знатно веће долете). Међутим, могућност допуне резервоара у ваздуху, развој других перформанси на рачун крајњег долета (на пример: повећање количине наоружања на рачун погонског горива), обезбеђење логистичке подршке на већем броју локација (носачи авиона, ваздухопловне базе) и слично, знатно су умањили потребу за повећањем крајњег долета ловачких авиона.

С тим у вези, за предвиђање перформанси потребно је детаљно анализирати кључне факторе који су имали и имају утицај на њихов развој и дорадити математички модел без обзира на ниво поузданости модела.

5. ПРИЗНАЊЕ

Овај рад резултат је пројекта број ВА-ДХ/3/17-19 под називом *Прорачун дугорочне финансијске одрживости дежурних снага система противваздухопловне одбране Војске Србије у контролни и заштити простора у миру*. Пројекат финансира Министарство одбране, а руководилац пројекта је др Иван Петровић, доцент.

6. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ рада био је приказ могућности примене анализе временског низа и израде математичког модела који ће омогућити поуздано предвиђање будућег развоја сложених борбених система. Истраживање је реализовано на примеру развоја кључних перформанси лета ловачких авиона пет технолошких генерација.

Сагледавањем могућности примене анализе временског низа утврђена је њена практична примењивост и могућност израде поузданог математичког модела. Такође, на конкретном примеру утврђено је да је математички модел потребно дорадити у смислу уважавања утицаја бројних фактора који утичу на развој тих перформанси.

Поред наведеног, а на основу резултата истраживања може се закључити и да предвиђени развој перформанси сложених борбених система не треба прихватити као потпуно известан догађај. Резултате, које омогућава израђени математички модел, потребно је посматрати као тенденцију развоја са могућим одступањем. С тим у вези, уколико су резултати процеса предвиђања довољно поуздани, прилагођавање система одбране будућем окружењу треба базирати на тим резултатима, али уз уважавање и других фактора и развијање широког спектра способности.

Значај рада огледа се у могућности примене анализе временског низа у решавању оваквих и сличних проблема без обзира на број, врсту и комплексност перформанси сложених борбених система.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Вујошевић, М. (1997). Оперативни менаџмент – квантитативне методе. Београд: ДОПИС.

[2] Ковачевић, З. (1995). Анализа временских серија. Београд: Економски факултет Универзитета у Београду.

[3] Ман, П. (2009). Увод у статистику. (6. издање). Београд: Центар за издавачку делатност Економског факултета у Београду.

[4] Хаџивуковић, С. (1989). Статистика. (3. измењено и допуњено издање). Београд: Привредни преглед.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

КАДРОВСКИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ И EXPERT-CHOICE У ИЗБОРУ ОФИЦИРА ЗА УПУЋИВАЊЕ НА ГЕНЕРАЛШТАБНО УСАВРШАВАЊЕ

THE APPLICATION OF MILITARY PERSONNEL INFORMATION SYSTEM AND EXPERT CHOICE IN OFFICER SELECTION FOR GENERAL STAFF ACADEMY

МИЛАН КОВАЧЕВИЋ[1], БОЈАН КУЗМАНОВИЋ[2], ДЕЈАН ЂОРЂЕВИЋ[3]

[1] Управа за обавештајно-извиђачке послове ГШ ВС, Београд, kacaiaca@ptt.rs
[2] Управа за обавештајно-извиђачке послове ГШ ВС, Београд, bojank.kuzma@gmail.com
[3] Војногеографски институт, Београд, dejandjordjevic.vgi@gmail.com

Резиме: *Кадровски информациони систем (КаИС) и програм Expert-Choice користе се као систем за подршку одлучивању коришћењем методе АХП базиране на принципима вишекритеријумског одлучивања. Избор лица за упућивање на Генералштабно усавршавање (ГШУ) представља важну одлуку од које ће у будућности зависити квалитет командног кадра на највишим позицијама у систему одбране јер завршетком Генералштабно усавршавање официри стичу услов за унапређење у чин пуковника и генералске чинове. У раду ће бити приказан модел за решавање проблема одлучивања у области управљања људским ресурсима уз коришћење Кадровски информациони систем и Expert-Choice програма у улози система за подршку одлучивању (СПО) у активности избора кандидата за упућивање на ГШУ.*

Кључне речи: *систем за подршку одлучивању, усавршавање, кадровски информациони систем, Expert-Choice, селекција, критеријуми.*

Abstract: *Military Personnel information system and Expert Choice software are used as decision support system based on AHP multi criteria decision making method. Officer selection for general staff academy is important decision which has influence on quality of future commanding personnel. These officers will be positioned in the highest places in defense system, because after finishing general staff academy, officers are fulfilling all necessary conditions needed to be promoted in colonel and general ranks. In this paper we presented problem solving model, for decision making, in human recourses section, with application of Military Personnel information system and Expert Choice software as decision support system (DSS) in selection of candidates for general staff academy.*

Keywords: *decision support system, Military Personnel information system, Expert Choice, selection, criteria.*

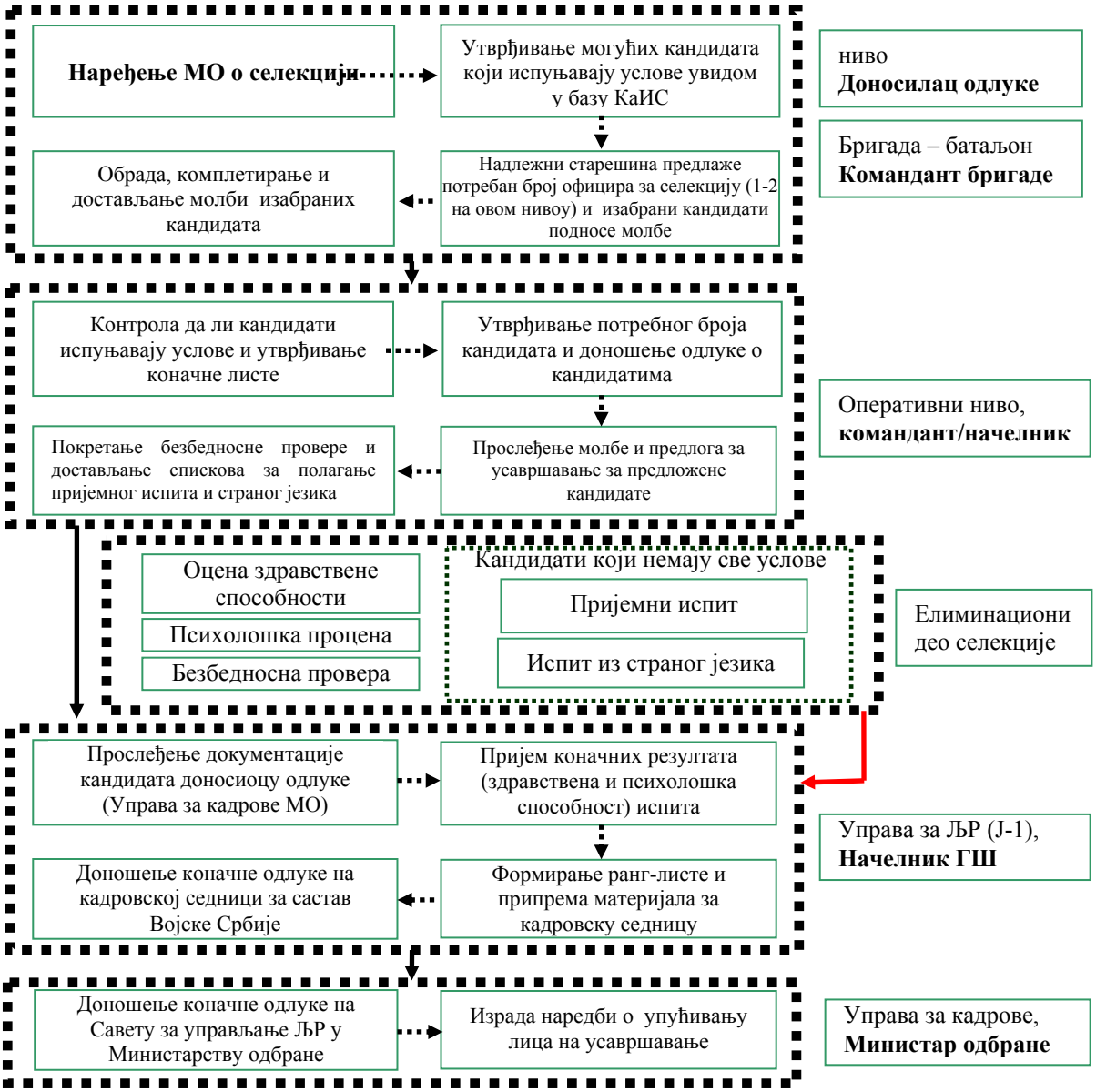
1. УВОД

Циљ рада је да се коришћењем кадровског информационог система и применом методе Аналитичко хијерархијског процеса (АХП) уз коришћење програма *Expert-Choice* изради систем за подршку одлучивању који ће пружити подршку доносиоцу одлуке приликом избора лица за упућивање на Генералштабно усавршавање (ГШУ) и која ће му помоћи у брзом, транспарентном и оптималном доношењу одлуке на свом нивоу одлучивања. Метода аналитичко хијерархијског процеса пружа могућност интеграције квантитативних и квалитативних фактора у одлучивању и погодна је за примену у групном одлучивању. Правилан избор критеријума и рангирање критеријума су кључни елементи за систем и знатно смањују могућност доношења неадекватне одлуке о официрима који ће обављати најзначајније и најодговорније дужности и доносити најважније и најутицајније одлуке по систем одбране.

Селекција за упућивање на ГШУ је комплексна и веома значајна активност, изузетно је важно да се реализује објективно и транспарентно јер само на тај начин подстиче здраву конкуренцију и има јако мотивационо дејство и резултира избором најквалитетнијих и најспособнијих кандидата и у складу је са стратешким опредељењима у управљању људским ресурсима у Војсци Србије која су прокламована Стратегијским прегледом одбране (2015): 1) успостављање равноправних услова за усавршавање и напредовање у складу са способностима и 2) унапређење ефикасности и транспарентности вођења кадра током професионалне службе.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

ГШУ представља трећи ниво каријерног усавршавања и официри који га заврше стичу потребан услов за постављење на позиције у Војсци Србије и Министарству одбране за које је утврђен чин пуковника и генералски чинови, односно могу обављати све дужности закључно са дужношћу начелника Генералштаба Војске Србије. Кандидате за упућивање на ГШУ предлажу претпостављене старешине у складу са Планом школовања и усавршавања кадра Министарства одбране и Војске Србије за текућу годину, а број кандидата за упућивање на усавршавање за сваку годину утврђује министар одбране. Коначан избор кандидата-официра за упућивање на ГШУ врши министар одбране, на основу листе кандидата који испуњавају услове за упућивање на усавршавање прописане Чланом 44. Уредбе о стањима у служби и унапређивању официра и подофицира (СВЛ РС бр 35/12) и након завршеног процеса селекције. Процес селекције почиње наређењем којим, по овлашћењу министра одбране Управа за кадрове Сектора за људске ресурсе Министарства одбране, утврђује план активности селекције ради избора лица за упућивање на школовања и усавршавања за текућу годину и приказан је на слици 1.

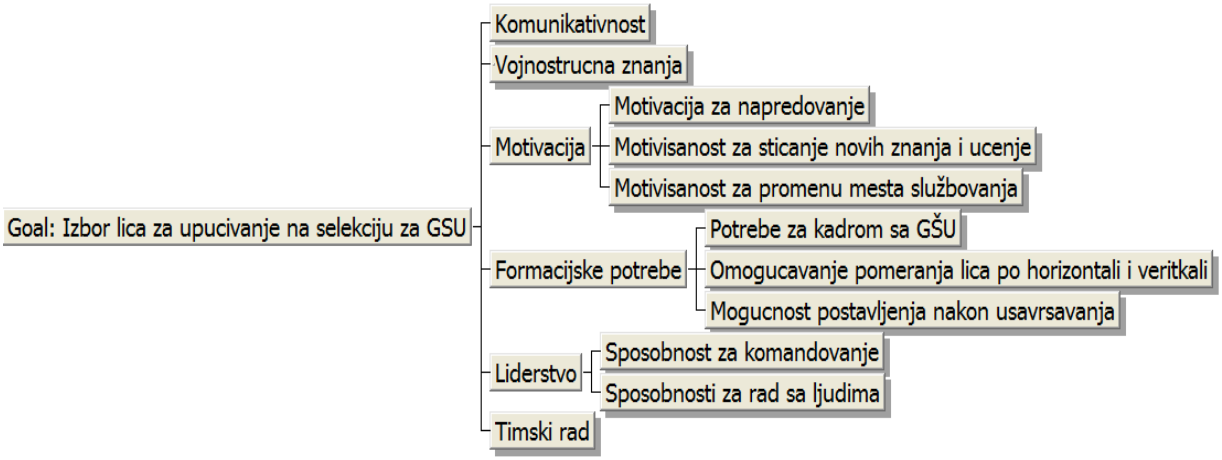


Слика 1:Процес селекције за упућивање на Генералштабно усавршавање

Током селекције примењују се Критеријуми за формирање листа кандидата за постављење на формацијско место вишег чина, за упућивање на школовање и усавршавање и за унапређење у виши чин (СВЛ бр. 13/12, 7/13 и 8/14) и на основу њих се формирају листе кандидата. Мерила која се користе у рангирању за ГШУ су општа (значај дужности, карактер руководеће дужности, успех са

школовања, достигнути ниво усавршавања, просечна службена оцена) и посебна (познавање страних језика, радно искуство, учешће у мултинационалним операцијама, процена психолошких капацитета), кандидатима се по свим наведеним мерилима додељује одређен број бодова (процене психолошког капацитета је елиминационе природе и не бодује се). Критеријумима, Законом о Војсци Србије ни Уредбом о стањима у служби доносиоц одлуке није експлицитно обавезан да на усавршавање упути лица у складу са позицијом на листи кандидата.

Доносилац одлуке (надлежни старешина) у конкретном случају има задатак да изабере официра (од четири расположива кандидата) за којег ће на свом нивоу дати позитивну оцену односно позитивано мишљење за учешће у селекцији за упућивање на ГШУ (на основу Плана школовања постоји могућност за усавршавање једног кандидата). Давањем негативног мишљења, практично на свом нивоу ДО ће прекинути учешће кандидата у селекцији. Модел се може користити на више нивоа и то у бригади, на оперативном нивоу, као и на нивоу организационих јединица МО и ГШ ВС. Хијерархијска структура проблема дефинисана је на слици 2. За реализацију избора лица за упућивање на селекцију за ГШУ пројектовано је 6 критеријума (при чему три критеријума има подкритеријуме, на основу којих се вреднују кандидати за упућивање на усавршавање. Приликом избора критеријума нису коришћена мерила која су прописана и бодују се у складу са Критеријумима за формирање листе кандидата.



Слика 2: Графички приказ структуре проблема

Одређење значења критеријума и подкритеријума:

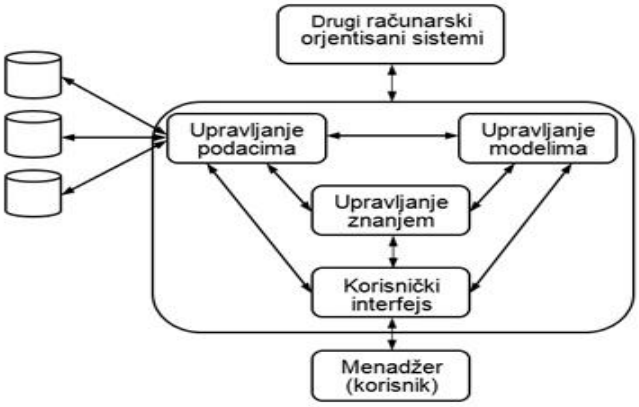
- К1. Комуникативност, способност јасног вербалног изражавања мисли и идеја, комуницирање и контакт са сарадницима, претпостављенима, потчињенима и странкама.
- К2. Војностручна знања, степен познавања послова и активности из делокруга свог радног места, познавање послова из области рода-службе, општих војних вештина (гађања, прописи, физичка припремљеност, војнички изглед) као и степен познавања ширег комплекса војних вештина и знања о организацији система одбране.
- К3. Мотивација: 3/1-мотивација за напредовање (процена жеље за напредовањем и у ситуацији да она подразумева и обављање комплексних и тешких радних задатака и одговорних и стресних послова), 3/2-мотивација за стицање нових знања и учење (процена жеље и капацитета за учењем и стицањем нових знања, вештина и способности), 3/3-мотивисаност за промену места службовања (процена колико су кандидати спремни и колико желе промену места службовања и да ли им је она пожељна или не, да ли се решава стамбено питање и спајање са породицом).
- К4. Формацијске потребе: 4/1-потребе за кадром са ГШУ (потребе за лицима рода-службе и типа каријере којој припада кандидат), 4/2-омогућавање померања по хоризонтали и вертикали (потребе за померањем кандидата ради омогућавања напредовања и постављења других лица и процена броја померања), 4/3-могућност постављења након усавршавања (процена могућности за адекватно постављење након завршетка усавршавања у роду-служби и типу каријере кандидата).
- К5. Лидерство: 5/1-способност за командовање (умешност у командовању, способност да га потчињени и сарадници следе у реализацији задатака и замисли), 5/2-способност за рад са људима (умешност у опхођењу, сарадњи и мотивисању потчињених и сарадника).
- К6. Тимски рад (способност уклапања у радни тим и реализације задатака ради успеха тима, адекватна сарадња са члановима тима, способност да се позитивно и синергетски делује на тим).

Алтернативе - кандидати за постављење су: А1: Начелник групе, потпуковник, А2: Референт, потпуковник, А3:Начелник Одсека у бригади, потпуковник, А4:Командант батаљона, потпуковник.

3. СИСТЕМИ ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ

Процене говоре да менаџери свих нивоа преко 90% радног времена проводе у процесу доношења одлука, међутим време које им је на располагању за доношење одлуке је све краће и у будућности ће се овај тренд наставити (Сукновић и Делибашић 2010). Доносиоци одлука свиха нивоа ограничени су спознајним, економским и временским факторима и стога им је потребна подршка у доношењу одлука. Спознајна ограничења односе се на ограничене способности човека да памти и обрађује информације што ограничава ефикасност и ефективност одлучивања. Информација је један од кључних ресурса при доношењу одлуке, али мноштво информација не гарантује добру одлуку, подршку одлучивању могу пружити систематизоване, структуиране и информације повезане у систем због чега се појављују системи за подршку одлучивању који имају за циљ пре свега унапређење процеса доношења одлука и могу се користити у доношењу одлука свих нивоа, али посебан значај имају за више управљачке нивое.

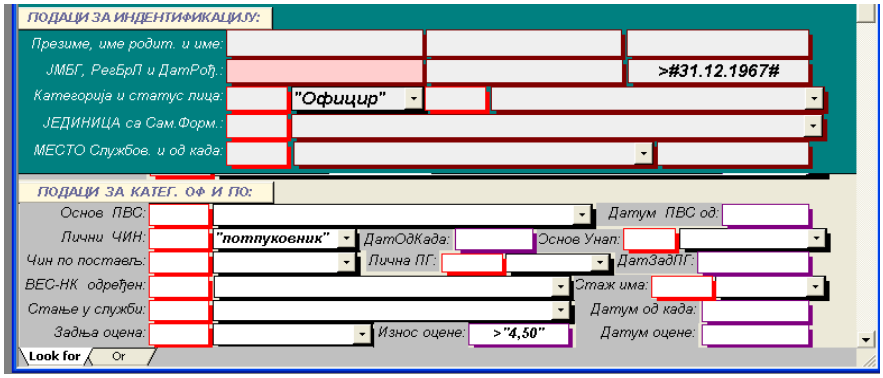
Системи за подршку одлучивању (DSS) су интерактивни компјутерски системи са циљем да помогну менаџерима или доносиоцима одлука да идентификују, структуирају, и/или реше полуструктуиране и неструктуиране проблеме и да направе избор међу алтернативама (Power 2002), а основне компоненте СПО су подсистеми за управљање подацима (*Database Management System*, DBMS), за управљање моделима (*Model Base Management System*, MBMS), за управљање знањем (*Knowledge Base Management System*, KBMS) и кориснички интерфејс (Turban 1995).



Слика 3: Структура система за подршку одлучивању

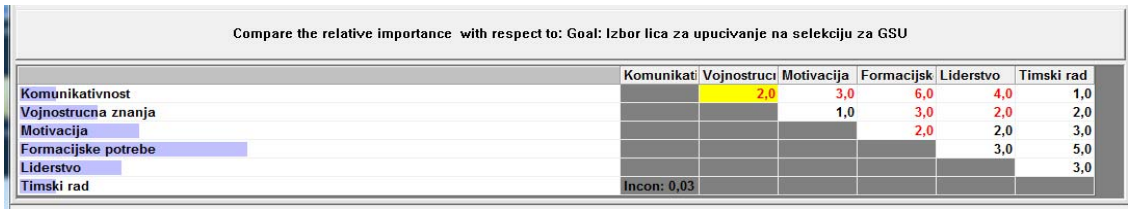
4. ОДРЕЂЕЊЕ РЕШЕЊА ПРОБЛЕМА

Кадровски информациони систем (КаИС) у функцији претпорцесора омогућава формирање подскупа могућих алтернатива на два начина, вишеструком филтрацијом појединачним задавањем услова или формирањем одговарајућих релација над подацима. Имајући у виду да се избор могућих кандидата врши на малој бази није неопходно формирати релације података већ су подаци добијени вишеструком селекцијом филтерима приказаним на слици 4 (официр; млађи од 50 година; потпуковник, последња оцена >4,50), а затим и филтрацијом осталих услова утврђено је да је на ГШУ могуће упутити 10 кандидата, а након провере персоналних досијеа (за услове који из КаИС није могуће утврдити) и обављеног службеног разговора утврђено је да све услове задовољавају четири заинтересована кандидата.



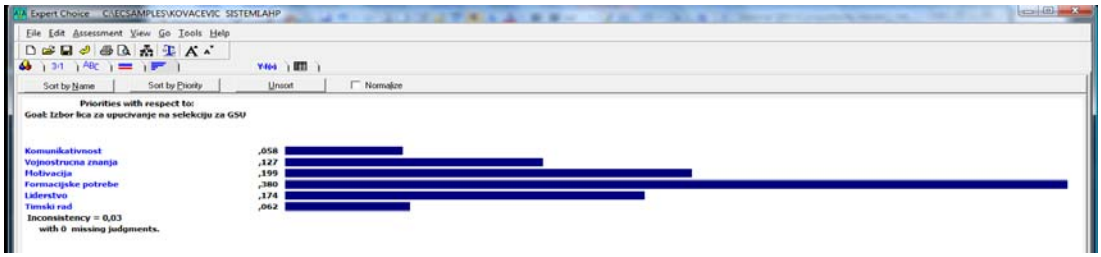
Слика 4: Филтрирање података из базе КаИС

Применом АХП методе уз коришћење програма *Expert-Choice* и након уноса циља, критеријума и алернатива извршено је упоређивање значаја критеријума поређењем (при чему је у процени коришћена Сатијева скала са девет-тачака за додељивање тежина), а вредности су дефинисане од стручњака за људске ресурсе и унете у програм и приказане на слици 5.



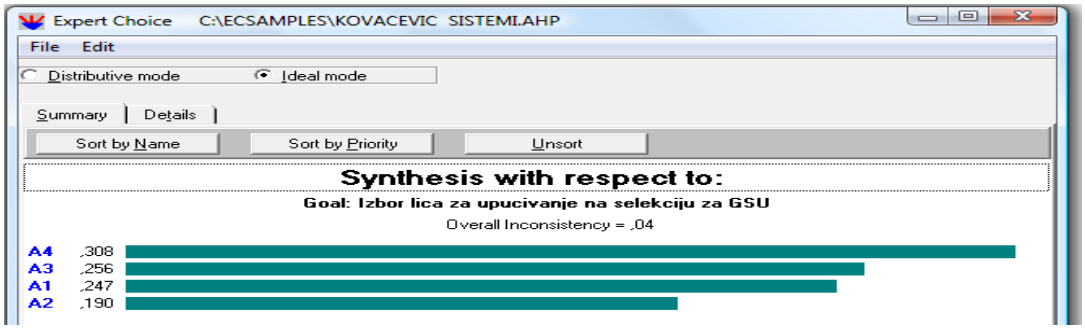
Слика 5: Матрица поређења парова по критеријума

Програм *Expert-Choice* након уноса поређења критеријума израчунава тежине критеријума, а оне могу бити графички представљене на више начина. Тежине критеријума приказане су на слици 6.



Слика 6: Важност – тежина критеријума у моделу

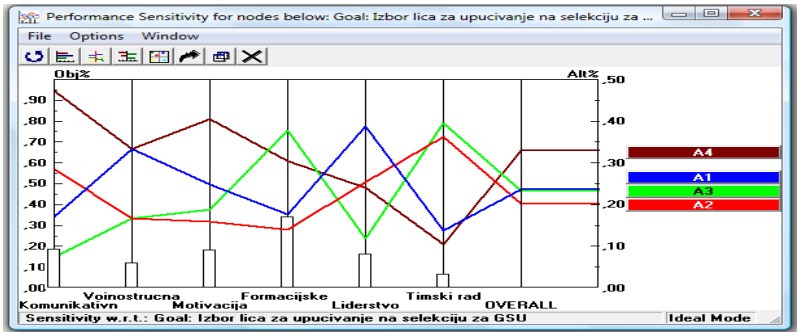
По оцењивању подкритеријума у оквиру критеријума К3: Мотивација, К4: Формацијске потребе и К5: Лидерство и алтернатива по свим критеријумима и подкритеријумима програм врши коначну оцену алтернатива, односно израчунава коначни ранг алтернатива који је је приказан на слици 7, а поред ранга представљене су и бројчане вредности тежина алтернатива у односу на циљ.



Слика 7: Ранг алтернатива у односу на циљ

Представљени резултати показују да је решење проблема представљеног у овом раду алтернатива А4 са скором 0,308 (командант батаљона), да је другопласирана алтернатива А3 са скором 0,256 (начелник групе), трећепласирана је алатернатива А1 са скором 0,247 (начелник групе), а последњу позицију заузима алтернатива А2 са скором 0,190 (референт). Укупна неконзистентност има дозвољену вредност од 0,04 (<0,1). Ради провере коначног резултата и ранга алтернатива извршена је анализа осетљивости решења. *Expert-Choice* програм омогућава пет модела анализе осетљивости: *Performance, Dynamic, Gradient, Head to Head i Two-Dimensional (2D Plot)*. Задатак анализе осетљивости је да идентификује утицај интезитета и правца промена у критеријумима на коначно решење, односно на ранг алтернатива. Значај поступка се огледа у могућности да доносилац одлуке анализира последице промена у тежинама критеријума и да провери исправност одлуке. Свеобухватна анализа осетљивости осигурава кредибилитет одлуке и могућност погрешног избора своди на најмању могућу меру. *Performance* и *dynamic* анализа осетљивости омогућавају да доносилац одлуке вршећи измену примарних критеријума и посматрајући њихов утицај на укупно рангирање добије одговоре на „шта ако“ питања.

Стабилност решења је проверена тако што су појединачно мењане тежине сваког од критеријума. Промене у рангирању алтернатива А1 и А3 уочене су након промене тежина критеријума К1 за 12,9% (раст тежине) и након раста К2 за 7,1%. Истоветна промена се догодила и у повећању–смањењу тежине осталих критеријума и то К3 (+20,3%), К4 (-3,6%), К5 (+4,3%) и К6 (-5,6%). У ситуацијама у којима је потребно да се изврши избор једне од ових алтернатива, односно у ситацијама у којима су разлике између алтернатива минималне, приликом рангирања алтернатива потребно је укључити и додатне критеријуме ради доношења правилне и правичне коначне одлуке При наведеним променема тежина ранг алтернативе А4 и ранг алтернативе А2 остају непромењени што указује на стабилност решења која је илустрована графички на слици 8, а такође је уочљива и претходно наведена промена ранга алтернатива А1 и А3 при промени – расту значаја критеријума К1: Комуникативност за +12,9%). Исте промене јављају се и при променама осталих критеријума у наведеним границама.



Слика 8: Анализа осетљивости, модел *Performance*, раст К1 (+12,9%)

5. ЗАКЉУЧАК

АХП метода вишекритеријумског одлучивања чија се примена реализује програмом *Expert-Choice*, при чему се КаИС користи као претпроцесор за избор подскупа кандидата чини систем за подршку одлучивању и доприноси квалитетном избору официра за упућивање на ГШУ. У приказаном раду је примењен модел на три хијерархијска нивоа који вреднује кандидате у односу на 11 различитих критеријума, оцена критеријума и алтернатива и коначни резултати добијени су применом програма *Expert-Choice* и указују да је најбоља алтернатива кандидат А4. Избор коришћених критеријума базиран је на оцени стручњака из области људских ресурса и искуствима из ове области. Реалност процене потврђена је конзистентним оцењивањем, све матрице вредновања алтернатива и критеријума су са дозвољеним степеном конзистенције. Резултати контроле осетљивости у приказаном моделу указују да је кандидат А4 стабилно решење и да је у условима знатних промена тежина критеријума идентификован као најбоља алтернатива. Такође кандидат А2 у већини случајева приликом промена тежине критеријума остаје на позицији број 4.

Одговарајућим изменама критеријума у моделу или изменама у рангирању критеријума могу се развити и други модели који ће чинити систем подршке доносиоцу одлуке у избору оптималног решења приликом доношења одлуке о кандидатима за упућивање на друге облике усавршавања која се реализују у систему одбране, као и за доношење коначних одлука на свом нивоу одлучивања. Приказани модел могуће је потребно је у наредним истраживањима проширити увођењем „меких“ критеријума који ће се узети у обзир при малим разликама у оценама кандидата. Коришћење приказаног модела може омогућити да се убрза процес и умањи субјективност доносиоца одлуке.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Сукновић М., Делибашић Б.: Пословна интелигенција и системи за подршку одлучивању, ФОН, Београд, 2010.

[2] Power D.J., „Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers“,Quorum Books, Westport Conn., 2002.

[3] Turban, E. Decision Support, Expert Systems: Management Support Systems, 4th edition, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.

[4] http://odlucivanje.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/Expert-Choice.pdf.

[5] Уредба о стањима у служби и унапређивању официра и подофицира, Сл. гласник РС 35/12.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

TANDEM QUEUEING CONCEPT IN IMPROVING COMMAND & CONTROL PROCESS IN HYBRID ENVIRONMENT

NEBOJSA NIKOLIC[1]

[1] Institut za strategijska istrazivanja, Ministarstvo odbrane, nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs

Abstract: *Military Command and Control is a complex process which contains a set of sub-processes as follows: situational awareness, threats detection, information processing, planning, coordinating, decision making and acting against an opponent. All those sub-processes should be interconnected and synchronized. What counts is the whole and not any single sub-process. Command and Control system is a socio-technical system which is organizationally and geographically distributed in a complex manner. All operational orders for engagement of the military resources in any kind of mission or task, are produced by and delivered through the Command and Control system. Due to its crucial importance for the military, command and control systems are subject of permanent improvement and modernization. However, in the era of financial constrains the question is what part of Command and Control process or what technical items should and could be improved and modernized. Command and Control processs, perceived as a chain of successive sub-processes, could be presented as a tandem queueing model. Analysis of queueing behaviour at every node of a tandem queueing system may identify bottle-necks in the system and that may help in making right decision about modernization and improvement the whole system of Command and Control. This paper tends to point out aspect of tandem queueing in military Command and Control process and its potential to support good decision making.*

Keywords: *Military, Command, Control, Queueing, Simulation.*

1. INTRODUCTION

Military Command and Control, (C2), presents an information system which enables military command process at all levels. C2 is performed "through an arrangement of personnel, equipment, communications, facilities, and procedures employed by a commander in planning, directing, coordinating, and controlling forces and operations in the accomplishment of the mission" (DoD Dictionary of Military and Associated Terms). There are a set of similar terms and abbreviations which tend to better describe overall process of military Command and Control. Some of those terms and abbreviations are as follows: C3 – Command, Control & Communication; C3I – Command, Control, Communications, Intelligence; C4I - Command, Control, Communications, Computers, Intelligence; C4ISR - Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance; C5I – Command, Control, Communications, Computers, Collaboration, Intelligence; etc.

Here will be used the simples term, C2 (Command and Control), as a basic and the most general denotation for Command and Control. Military C2 process consists of several consecutive sub-processes or phases. The process starts with a recognition of a potential threat to the military unit. That is a result of a situational awareness (observation, sensing) which is performed through various sensors (human eye, radar, sonar, camera, detector, satelite, intellingence). This rough sensor's information need to be processed in order to identify and recognize kind and affilation of the object (friend or foe; tank or bus; bird or plane; etc), as well as its position and movement parameters. As sensors are usually geographically dispersed, those information sholud to be sent to the decision makers through communication channels. After receiving sensor's information, decision maker should make appropriate decision taking in a count a number of different aspects as follows: reliability, relevance and timing of information; potential impact and consequences of taking some action or no action; framework of possible actions and authorization; task and mission associated to the military unit; available capabilities to undertake some activity; available time for considered action; and so on.

This process as a whole, looks like a chain of consecutive activities which should be performed by some entities. If we perceive initial appearance of the potential threat as a „demand for service“ and all following processing activities as a „servicing“, then we can describe this real system as a queueing system (waiting

line system) which investigation is supported by an mathematical theory known as the queueing theory or theory of waiting lines. Additionally, for descibing and analysing of more complex queueing models there is one more methodology: Monte Carlo simulation (or simulation of stochastic processes).

Hybrid operational environment, as a military perspective of the broader hybrid warfare context, reinforces existing problems and generates new challenges for overall process and systems of the C2. According to an novel findings (Bowman, Goolsby and Hansen, 2016) presented at an referential conference about C2, those are challenges for C2 in hybrid operational environment: information overflow, dynamic of the threat appearance become more intense and wide, growth of uncertainty, lack of ability of traditional sensor platforms to provide relevant data for decision makers's full understanding of the situation, change of spatial characteristics of the battlespace (shifting from traditional „battle-field" towards urban warfare).

To resume, contemporary operational environment for engagement of military units, currently known as hybrid environment as well, contribute to the complexity of modeling of the military command and control. Perceived and modeled as complex queueing systems, C2 models are more effectively analyzed by use of stochastic simulation. Multi-phase nature of C2 is modeled as tandem queueing system. An analysis of performance measures for different stages of servicing may indicate where are the botlenecks and where they are not. This knowledge may contribute to the right decisions regarding modernizations of technical items and advancing of operational procedures (where and what to modernize and change in the C2 chain, and, where there is no need for change).

2. MODELS FOR COMMAND AND CONTROL

Military Command and Control systems are socio-technical sets of different componets which are geographicaly and organizationaly distributed. C2 systems are characterized by strong operational procedures and clear responsibilities. At the same time, C2 systems have to be flexibile, robust and agile in a hostile environment. C2 has to be reliable, selective, resistant to interruption and violation, and capable to process and distribute relevant information in a prescribed time. Importance of the C2 for the military is quite clear and it fundamentaly contributes to the overal operational capabilities of the military units. That is confirmed as well by Radovanovic and Karovic, 2015, where they found that elements: „Command" and „Timely use of force", are considered as the most important for the operational capabilities of the Army and Air force units.

As a process, C2 is a multiphase structure consisting of several consecutive phases dedicated to the following activities: collecting, selecting, processing, communicating, distributing and presenting all information relevant for informed decision making. There are more models developed for conceptual desciption of C2. Some of the most reprezentative models are as follows: (1) John Boyd's OODA loop for decision making, Figure 1; (2) Joel Lawson's C2 model, Figure 2; and (3) Richard Hayes's The HEAT model (Headquarters Effectiveness Assessment Tool), Figure 3.

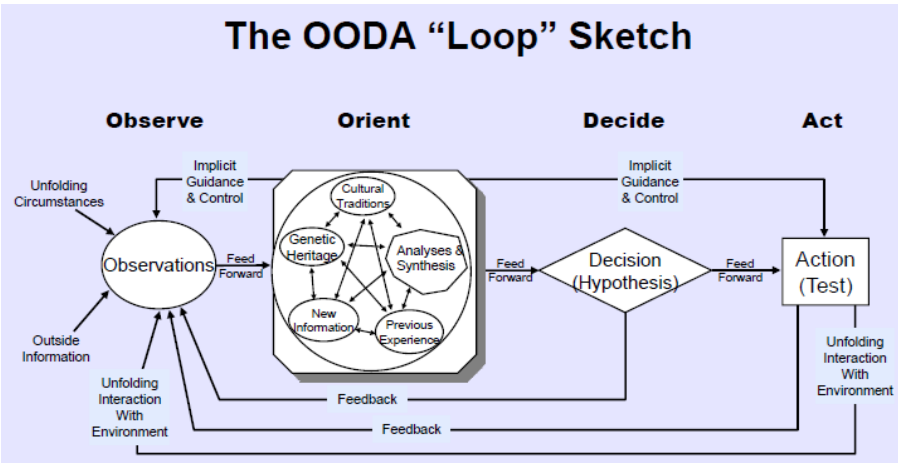


Figure1. John Boyd's OODA Loop of decision making (Boyd, 1986).

All presented models are at the highest level of generality. Relevant literature offers a number of variations of exposed models as well as some more detailed solutions. More information on other models of Command and Control could be find at Crumley and Sherman (1990).

However, interested reader will understand that majority of available C2 models should be treated as educational and research support rather then an operational scheme related to any real military system.

Unlike some particular weapon system or platform which for some technical performances could be known (at least for a commercial reason), key performances, composition and structure of actual or developing real C2 systems are less available.

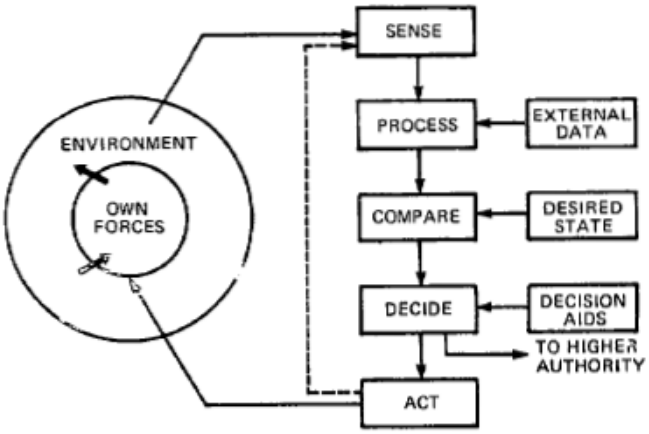


Figure 2. Lawson's C2 model (Lawson, 1981).

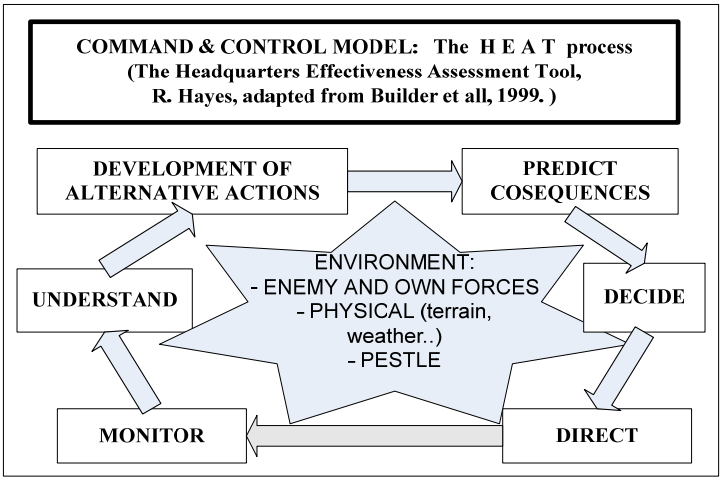


Figure 3. The HEAT model od C2 (Hayes, 1983).

All three presented models of C2 emphasize multi-phase structure of the C2 and consecutiveness of those phases. In order to animate above abstract models, some examples of realistic elements of the real C2 systems are presented in Table 1 (last column).

Table 1: Comparative configuration of C2 model's phases

Model Phases	Boyd's OODA model	Lawson's model	The HEAT model	Real system components
1.phase	Observe	Sense	Monitor	Radar+Human operator
2. phase	Orient	Process	Understand	HumanDM+Computer
2.1. phase		Compare	Develop COAs	HumanDM+Computer
2.3. phase			Predict consequences	HumanDM+Computer
3. phase	Decide	Decide	Decide	HumanDM
4. phase	Act	Act	Act	Human+WeaponSystem

Table 1 offeres also an comparative review of the C2 phases from all three models. Fundamental similarities among those three C2 models are evident, while differences are reflection of different contexts where from those models have arised: Boyd's C2 model comes from a decision making analysis for a close air combat in the middle twenthy century; Lawson's model arise from a system analysis approach to a projection and development of complex C2 systems including detailed technical aspects; while the HEAT model arised dominantly from the field of military operational art where the main topic was about organizational issues related to the military staff work and collecting, processing and disseminating information (data, reports, instructions, orders) accross deployed military units.

3. QUEUEING THEORY AND MILITARY QUEUEING SYSTEMS

There are many processes and systems in the military and defence related issues which could be perceived and modeled as queueing systems. The „client and server"concept, which is a fundamental relationship in the queueing modeling, is very similar to the „threat and defence" relationship in the military conflict domain. Examples of such cases in the military branch which could be modeled as queueing systems are as follows: "servicing" of enemy combat platforms (tanks, planes, missiles); informations gathering and procesing, decision making, orders dissemination and reporting (know in general as the Command and Control); various logistic problems (maintenance, supplying, transportation, medical evacuation, etc).

There are three general approaches in modeling and analysing of queueing system (Worthington, 2009; Nikolic 2008). The first is traditional mathematical analytical approach and solutions are in forms of formulae. The second is based on using of mathematical numerical methods in solving mathematical equations instead of producing closed form formulae. The third approach assumess using of simulaton methods in modeling, analysing and solving queueing problems. This approach is based on application of statistical methods over data obtained from numerous experiment on simulation model of queueing system which is usually arranged as computer program and executed on a computer. As a simulation becomes a widely used term, it is necessary to point out that it is a case of stochastic simulation also known as a Monte Carlo simulation.

In a wide variety of military and defence realted problems, particularly in a war conditions as well in a other-then-war opeartions, there are many oportunities to apply queueing theory and Monte Carlo simulation. Unlike majority of queueing problems and cases in non-militray domain where steady-state performances of queueing system is of primary interest, transient behavior of queueing systems could be very important in the military context (Kaczynski and Leemis, 2012; Nikolic 2008). While non-military actors are interested primarily in understanding of a long-term behavior of queueing systems with a reasonable-tolerable traffic intensity, militray conflict situations are modeled as they usually are: sudden, fierce, overloaded and short-termed or at least with very finite duration.

Trustworthy conceptual queueing model for C2 would be very complex for a number of reasons as follows. Firstly, many servers, if not all in a C2 chain perform its servicing mission according to a non-exponential (general) distribution functions of stochastic variables. This is important because majority of useable theoretical results are based on assumption of exponentiality. Secondly, unlike theorethical dedication to a steady-state behavior of a (non-military) queueing systems, in a case of military queueing systems there is a need to consider transient behavior because military missions are usually planned and executed in a finite time frame. Thirdly, in traditional queueing analysis there is one important pre-condition, related to artificially limited value of traffic intensity, which is necessary to respect in order to obtain validity of the analysis. On the contrary, in the case of militray queueing systems there is an immanence of tendency to overload and overflow relevant capabilities of the enemy. All three those reasons generate many obstacles towards distiling applicable closed forms of formulas for desired measures of performances. So, our queueing model of C2 would have characteristics as follows:

- more successive phases (tandem queue);
- service distribution functions of general type (G);
- works in a finite time framework (transient and steady-state behavior are of interest);
- high tempo of activities with no limits (normal, high, saturated and overloaded traffic intensity);
- violation at battlefield causes interruption of services (non-reliable servers);
- the threat (enemy) tend to be in a reach as shortly as it is possible (reneging queueing).

Closed forms solutions for such queueing model with a characteristics described above, still does not exist at the moment and researchers usually turn to simulation modeling or make analysis of partial sub-models, or make some simplifications of the model. In this paper however, we will simplify the situation in a such a way to point out multiphase aspect (tandem queue structure) of a set of a single channel consecutive services with exponentially distributed service time. That is, we will consider an chain of M/M/1 queueing models which represent the basic phases of C2 model: Observe (sense, monitor), Orient (process, understand,develop, compare, predict), Decide, Act (Table 1).

3.1. C2 As Tandem Queueing System

Formulas for basic measures of performances for the simple four phases of tandem queueing system (4 successive models of type M/M/1) could be derived from a wider literature (Filipowicz and Kwiecien, 2008; Vukadinovic, 1988) and they are presented as follows:

Average number of customers in the system (n – number of service phases):

$$L = \sum_{i=1}^{n} \frac{\rho_i}{1-\rho_i} \tag{1}$$

Average waiting time of a customer in the system (total expected time to pass through all successive phases):

$$T = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\mu_i - \lambda} \tag{2}$$

Average number of customers in the queue of the phase *i*:

$$L_i = \frac{\rho_i^2}{1-\rho_i} \tag{3}$$

Average waiting time of a customer in the queue of the phase *i*: (4)

$$T_i = \frac{\rho_i}{\mu_i - \lambda}$$

Table 2: Review of parameters in formulas

Symbol	Meaning
L	Average number of customers in the whole system
L_i	Average number of customers in the queue of the phase *i*
T	Average waiting time of customer in a whole system (total expected time to pass through all phases)
T_i	Average waiting time of a customer in the queue of the phase *i*
n	Number of servicing stages of the systems
μ_i	Service rate (mean value of a service time) at a service stage (node) i
λ	Arrival rate (mean value of arrivals of the customers – threats to C2 which have to be processed)
ρ_i	Traffic rate for service stage i (ratio: $\rho=\lambda/\mu_i$)

Table 3: Example of efficient improvement of C2 system

Variants of C2 performances	$1/\lambda$ Mean time between threats	$1/\mu_1$ Mean time to OBSERVE	$1/\mu_2$ Mean time to ORIENT	$1/\mu_3$ Mean time to DECIDE	$1/\mu_4$ Mean time to ACT	L Average number of clients in the system	T Total expected time in a system
Actual system	10	6	6	6	6	6	60
Improvement of the OBSERVE and ACT	10	**3**	6	6	**3**	3.8	39
Improvement of the ORIENT and DECIDE	10	6	**3**	**3**	6	3.8	39

Suppose we have an actual C2 system which has some performance as presented in Table 3 (row 1). Suppose we want to improve some overall performances of the C2 system (L-average number of clients in the system; and T-Total expected time in a system, processing time). We considered two cases: Improvement of the OBSERVE and ACT phases (row 2, Table 3); and Improvement of the ORIENT and DECIDE phases (row 3, Table 3). In a both cases there are the same output results (calculated according above formulas) for the considered measures of performances. With regard to characteristics of the real system under study and preferences and limitations of the decision maker, one or another solution could be more appropriate. In the military context, entity marked as OBSERVE may means some radar, sonar, or satellite, while ACT may be related to some weapon system (rocket launcher, artillery, tank, etc.). However, behind ORIENT and DECIDE there is no such impressive (and expensive) items. All technical items there are subordinated to the needs of human decision makers and theirs assistants. In short, for the same output values for overall measures of performances, it could happen that organizational improvements in the chain of decision making for C2 and posting superior human decision makers at important places, may produce the same output results as if we by expensive radars and rockets.

In regard of the hybrid environment, C2 systems will be under greater preasure and enlarged intensity of engagement. In regard of tandem queueing nature of C2 concept, that further means saturated and even

overloaded capacity of some elements in the C2 chain (bottlenecks). That situation places high demands towards queueing analysis which assumess the need for transient queueing analysis instead of relying on only a steady-state solutions.

Besides information overflow in a hybrid environment, it is expected also a rise of a need for new kinds of sensor platformss, as well as improved understanding of the situation by commander and his staff, and advanced procedures for decision making for a broader set of operational missions of the military units.

4. CONCLUSION

Wide variety of new and old challenges to security and theirs application in conteporary conflicts are know under term: the hybrid warfare. Contemporary hybrid warfare has demonstrated need for resilient military organization and units in performing many different missions and operations.Core entity in functioning of any military organization is Command and Control process. New challenges of hybrid warafre and financial constraints on military budgets generate need for smart improvement of the core capabilities of military units.

Military Command and Control systems are subject of continual improvement and modernization due to theirs crucial importance for performing military missions. Processes which are going on through the Command and Control chain are successive to each other and could be modeled as tandem queueing. This observation is noticeable for any kind of model of Command and Control. Tandem queueing approach allows to identify bottle-necks or critical places in the chain of decision making in Command and Control systems. Identified bottle-necks should be subject of improvement and modernization at first place and before all other actions. More over, modernization of other-then-bottle-neck parts of Command and Control system and at the same time taking no action to improve bottle-necks, has no sense nor any positive result.
Future research could be multi-directional. Trustworthy modeling of specific real system will certainly rely on Monte Carlo simulation modeling, a methodology which is able to cope with complex structure, realtions and parameters of real world tandem queueing systems.

Acknowledgement

The work is partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under Interdisciplinary Project No.III-47029, named: "Cost Effective Selection of New Technologies and Concepts of Defence Through Social Reforms and Strategic Orientations of Serbia in 21st Century".

REFERENCES

[1] Bowman, E., Goolsby, R., Hansen, E. (2016). Hybrid Warfare Challenges in a Complex and Connected Battlespace. Proceedings, 21st International Command & Control Research Technology Symposium, London, UK, 1-14. (https://dodccrp-testorg.squarespace.com/s/paper_48.pdf, accessed July 13, 2017.)

[2] Builder, C.H., Bankes, S.C., Nordin, R. (1999). Command Concepts – A Theory Derived from the Practice of Command and Control, Technical report MR775, RAND

[3] Crumley, L., Sherman, R. (1990). Revivew of Command and Control Models. Technical Report 915, DTIC, US Army Research Institute (AD-A230-105).

[4] DoD USA, Dictionary of Military and Associated Terms, (www.dtic.mil)

[5] Filipowicz, B., Kwiecien, J. (2008). Queueing systems and networks – Models and applications. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. 56(4). 378-390.

[6] Kaczynski, W., Leemis, L. (2012). Transient Queueing Analysis. INFORMS Journal of Computing. 24(1). 10-28.

[7] Lawson, J. (1981). Command and control as a process. IEEE Control Systems Magazine. 5-12.

[8] Nikolic, N. (2008). Statistical integration of Erlang's equations. European Journal of Operational Research 187(3). 1487-1493.

[9] Radovanovic, G., Karovic S. (2015). Determining the Importance of the Content of Operational Capabilities of SAF Units in Inspection Supervision by Applying the Methods of Analytic Hierarchy Process. Proceedings SYM-OP-IS 2015, 490-493.

[10] Vikadinovic, S. (1988). Masovno opsluzivanje. Naucna knjiga. Beograd.

[11] Worthington, D. (2009). Reflections on queue modeling from the last 50 years. Journal of the Operational Research Society. 60. S83-S92.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

KVANTITATIVNI PRISTUP PROCENI UGROŽENOSTI NACIONALNE BEZBEDNOSTI

QUANTITATIVE APPROACH IN VULNERABILITY ASSESMENT OF NATIONAL SECURITY

DEJAN STOJKOVIĆ[1], VLADA MITIĆ[2], NENAD DIMITRIJEVIĆ[3]

[1] Uprava za strategijsko planiranje SPO MO, dej.stojkovic@gmail.com
[2] Uprava za strategijsko planiranje SPO MO, vlada.mitic@mod.gov.rs
[3] Uprava za strategijsko planiranje SPO MO, nenad.dimitrijevic@mod.gov.rs

Rezime: *Procena ugroženosti nacionalne bezbednosti treba da omogući pravovremeno reagovanje državnih institucija u suprotstavljanju različitim bezbednosnim izazovima i pretnjama i zaštiti vitalnih nacionalnih interesa. Primena kvantitativnog pristupa treba da obezbedi veću objektivnost i pouzdanije rezultate u proceni ugroženosti nacionalne bezbednosti. U radu je prikazan model kvantitativne procene koji omogućava sagledavanje ukupne ugroženosti nacionalne bezbednosti. Validnost rezultata određena je adekvatnom procenom verovatnoće i posledica ispoljavanja konkretne pretnje bezbednosti. Prikazani model može da predstavlja koristan alat u kombinaciji sa drugim metodama i tehnikama procene bezbednosti.*

Ključne reči: *procena, nacionalna bezbednost, bezbednosne pretnje, kvantitativan pristup.*

Abstract: *Vulnerability assessment should provide timely reaction of state institution in confronting different security risk and threats and protection of vital national interest. Application of quantitative approach should allow better objectivity and more reliable results in assessment of vulnerability of national security. This paper presents the model of quantitative assessment which provides overview of overall vulnerability of national security. Reliability of results is determined by adequate assessment of possibility and consequences of expression of certain threat. Presented model can be useful tool in combination with another methods and techniques of security assessment.*

Keywords: *Assessment, National Security, Security Threats, Quantitative Approach.*

1. UVOD

Nacionalna bezbednost jeste objektivno stanje zaštićenosti nacionalnih vrednosti i interesa određene države od svih oblika ugrožavanja, te subjektivan osećaj bezbednosti građana te države. Nacionalna bezbednost predstavlja rezultat uticaja strategijskog okruženja i preduzetih mera i aktivnosti državnih organa i institucija u izvršavanju bezbednosnih funkcija, te delovanja drugih subjekata u svim oblastima društvenog života.

Zbog značaja nacionalne bezbednosti za svaku državu posebna pažnja se posvećuje proceni njene ugroženosti, što treba da omogući pravovremeno reagovanje i izgradnju efikasnog sistema zaštite nacionalnih interesa. Veliki broj domaće i strane literature se bavi problemima procene okruženja, kao i procenama pretnji nacionalnoj bezbednosti.

Do sada je razvijen veliki broj metoda, alata i tehnika za procenu ugroženosti nacionalne bezbednosti. Te metode, alati i tehnike uglavnom se zasnivaju na tzv. kvalitativnom pristupu, a osnovni razlog za to jeste relativna jednostavnost primene. Međutim, krupan nedostatak kvalitativnog pristupa ogleda se u otežanoj objektivizaciji , što nameće potrebu za kvantifikacijom procene. Primena kvantitativnog pristupa treba da obezbedi veću objektivnost i pouzdanije rezultate u proceni ugroženosti nacionalne bezbednosti.

U radu je prikazan model kvantitativne procene ugroženosti nacionalne bezbednosti, koji na osnovu transformisanih kvalitativnih sudova eksperata u kvantitativne mere, vrši proračun ugroženosti nacionalne bezbednosti države. Model omogućava grafičko prikazivanje rezultata procene nadležnim državnim organima, te vremensko praćenje ugroženosti nacionalne bezbednosti.

2. PRISTUPI U PROCENI PRETNJI NACIONALNOJ BEZBEDNOSTI

Nacionalne interese država ugrožavaju različiti izazovi, rizici i pretnje bezbednosti. Radi zaštite, sistemi bezbednosti kontinuirano procenjuju okruženje radi identifikovanja svih oblika ugrožavanja i procene ukupne ugroženosti nacionalne bezbednosti države.

U literaturi se javljaju dva osnovna pristupa koji se koriste za procenu pretnji, i to: kvalitativni i kvantitativni (Robbins & Coulter, 2007). Kvalitativni pristup proceni pretnji koristi sudove i mišljenje eksperata kako bi se predvidele izlazne informacije (Robbins & Coulter, 2007). Taj pristup se koristi kada postoje ograničenja u primeni kvantitativnih metoda, a naročito zbog tipova podataka, nedostatka istorijske baze podataka ili kada prikupljanje podataka nije racionalno jer zahteva puno vremena, ljudskih i materijalnih resursa. Prednosti ovog pristupa jeste fleksibilnost u odabiru činilaca kojima se opisuju pretnje, nezavisnost od prošlih kretanja, kao i to da omogućava predviđanje turbulentnih i neizvesnih pojava, te identifikovanje novih pretnji koje do sada nisu postojale. Nedostatak primene kvalitativnog pristupa jeste subjektivnost i manja tačnost predviđanja (Bahtijarević-Šiber & Sikavica, 2001).

Kvantitativan pristup zasniva se na prikupljanju i korišćenju kvantitativnih podataka o činiocima kojima se opisuju pretnje. Za procenu pretnji koriste se matematički modeli. Nedostaci kvantitativnog pristupa ogledaju se u teškoći, a često i nemogućnosti, da se kvantitativnim tipovima podataka na objektivan način izraze svi relevantni činioci vezani za pretnju. Takođe, primena kvantitativnog pristupa ponekad može zahtevati mnogo vremena, kao i učešće velikog broja ljudi sa specifičnim znanjima i iskustvima.

Zbog nedostataka kvalitativnog i kvantitativnog pristupa u praksi se najčešće primenjuje njihova kombinacija. U kombinovanim pristupima najčešće se činioci kojima se opisuju pretnje ekspertskom procenom određuju kvalitativno, a zatim se transformišu u kvantitativne vrednosti kako bi se dalje obrađivale primenom odgovarajućih matematičkih modela.

3. MODEL KVANTITATIVNE PROCENE UGROŽENOSTI NACIONALNE BEZBEDNOSTI

Svaku pretnju nacionalnoj bezbednosti karakteriše verovatnoća njenog ispoljavanja, te posledice koje njeno ispoljavanje proizvodi. Posmatrano iz perspektive nacionalne bezbednosti, pretnja sa svojom verovatnoćom, kao i posledicama, predstavlja određenu opasnost po nacionalnu bezbednost. Opasnost koju određena pretnja *p* proizvodi po nacionalnu bezbednost može se sagledati kvantitativno, što omogućava objektivniju procenu pretnji (Masera & Nai Fovino, 2007).

Verovatnoća ugrožavanja nacionalne bezbednosti je u funkciji namere nosioca pretnje i drugih ograničenja koja nosioc pretnji ima. Verovatnoća ugrožavanja nacionalne bezbednosti određenom pretnjom može se izraziti skalom (prilagođeno prema: Tatomir, 2011): vrlo verovatno od 0,8 do 1; verovatno od 0,6 do 0,79; moguće od 0,4 do 0,59; malo verovatno od 0,2 do 0,39 i vrlo malo verovatno od 0 do 0,19.

Pri ispoljavanju pretnje *p* mogu nastupiti različite posledice po nacionalnu bezbednost. Posledice koje pretnja proizvodi predstavljaju štetu po nacionalnu bezbednost određene države i najčešće se izražavaju kvalitativno, a zatim konstruisanim merama izraziti i kvantitativno na sledeći način (Tatomir, 2011): katastrofalne od 0,8 do 1; značajne od 0,6 do 0,79; srednje od 0,4 do 0,59; male od 0,2 do 0,39 i beznačajne od 0 do 0,19.

Nakon transformacije kvalitativnih vrednosti verovatnoće i posledica pretnje u kvantitativne, moguće je za svaku pretnju izračunati opasnost koju proizvodi po nacionalnu bezbednost države primenom jednačine 1.

$$O_p = P_p \times C_p,\ p = 1 \text{ do } i \qquad (1)$$

gde je:

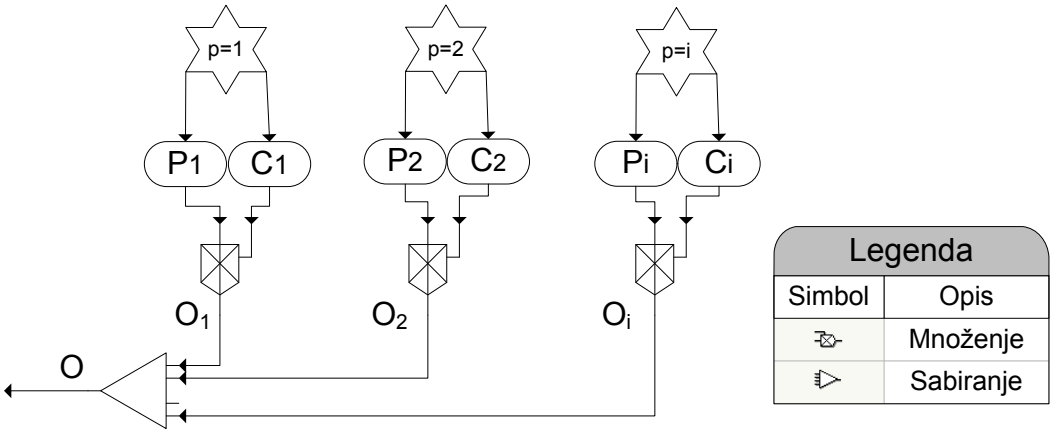
p- redni broj pretnje i kreće se od 1 do *i*, a *i* je maksimalan broj pretnji koje mogu ugroziti nacionalnu bezbednost države,

P_p-verovatnoća ispoljavanja pretnje *p*,

C_p-posledice koje stvara ispoljavanje pretnje *p*,

O_p-opasnost koju pretnja *p* proizvodi po nacionalnu bezbednost.

Na nacionalnu bezbednost utiče veliki broj pretnji, te je potrebno kvantitativno izraziti ukupnu ugroženost nacionalne bezbednosti koju donose sve pretnje. Ukupna ugroženost nacionalne bezbednosti može se utvrditi korišćenjem modela koji je prikazan na slici 1.



Slika 1: Model kvantitativne procene ugroženosti nacionalne bezbednosti

U skladu sa slikom ukupna ugroženost nacionalne bezbednosti od strane svih pretnji izračunava se prema jednačini 2.

$$O = \frac{1}{i} \times \sum_{p=1}^{i} O_p \qquad (2)$$

gde je:

O-ukupna ugroženost nacionalne bezbednosti države.

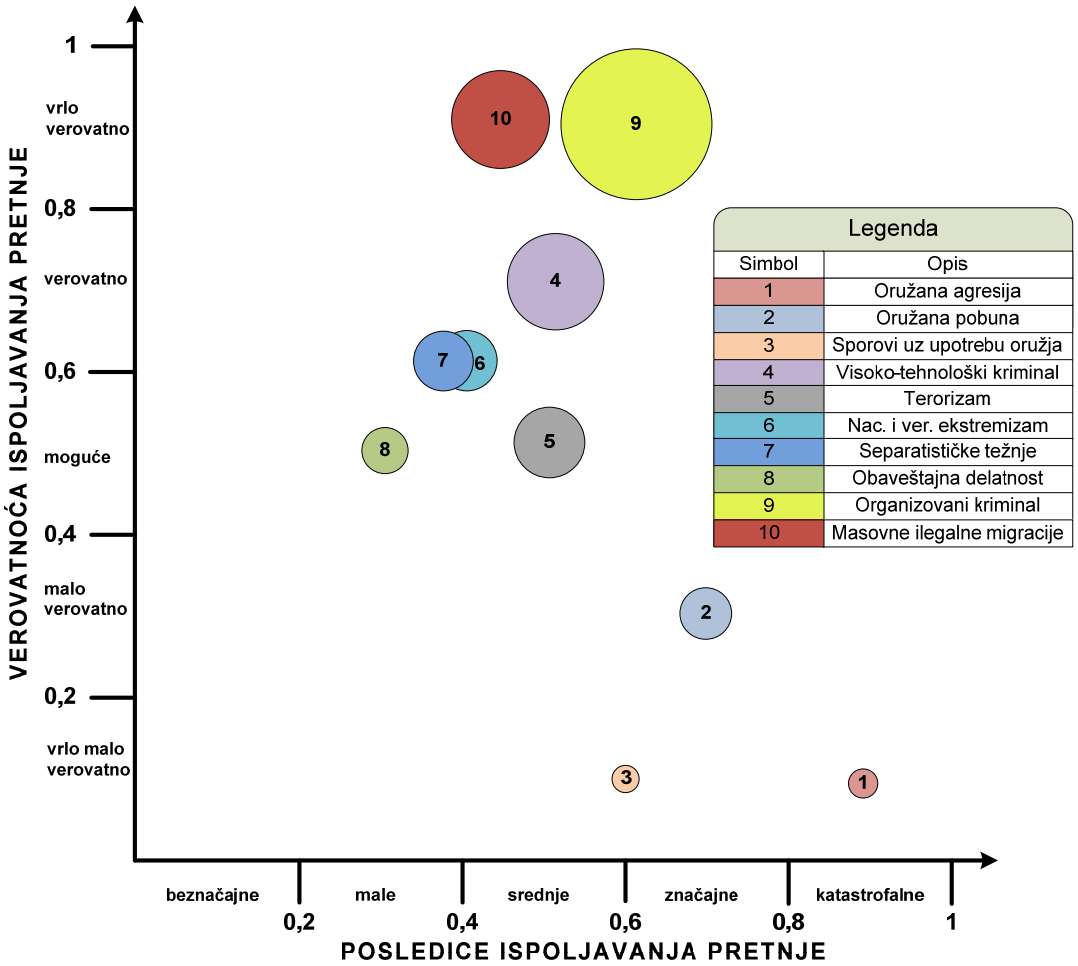
4. PRIMER PRIMENE MODELA KVANTITATIVNE PROCENE UGROŽENOSTI NACIONALNE BEZBEDNOSTI

Prikazani model primenjen je na primeru procene ugroženosti nacionalne bezbednosti Republike Srbije. Iz Strategije nacionalne bezbednosti Republike Srbije (Министарство одбране Републике Србије, 2009) odabrane su određene pretnje, a koje su date u tabeli 1. Primenom DELFI metode (Чупић & Сукновић, 2008), izvršena je ekspertska procena verovatnoće i posledica koje svaka od odabranih pretnji može imati po nacionalnu bezbednost, a rezultati procene dati su u tabeli 1.

Tabela 1: Primer procene ukupne ugroženosti nacionalne bezbednosti

Oznaka pretnje (p)	Naziv pretnje	Verovatnoća ispoljavanja pretnje *p* (P_p)	Posledice ispoljavanja pretnje *p* (C_p)	Opasnost koju pretnja *p* proizvodi (O_p)
1	Oružana agresija	0,1	0,9	0,09
2	Oružana pobuna	0,3	0,7	0,21
3	Sporovi uz upotrebu oružja	0,1	0,6	0,06
4	Visokotehnološki kriminal	0,7	0,5	0,35
5	Terorizam	0,5	0,5	0,25
6	Nacionalni i verski ekstremizam	0,6	0,4	0,24
7	Separatističke težnje	0,6	0,4	0,24
8	Obaveštajna delatnost	0,5	0,3	0,15
9	Organizovani kriminal	0,9	0,6	0,54
10	Masovne ilegalne migracije	0,9	0,4	0,36
Ukupna ugroženost nacionalne bezbednosti (O)				**0,249**

Rezultati procene mogu se prikazati i grafički (slika 2), što omogućava njihov očigledniji prikaz nadležnim državnim organima, te vremensko praćenje ugroženosti nacionalne bezbednosti. Položaj svake pretnje u koordinatnom sistemu određen je njenom verovatnoćom i posledicama koje može proizvesti, dok je veličina kruga kojim je pretnja predstavljena proporcionalna opasnosti koju određena pretnja predstavlja za nacionalnu bezbednost.

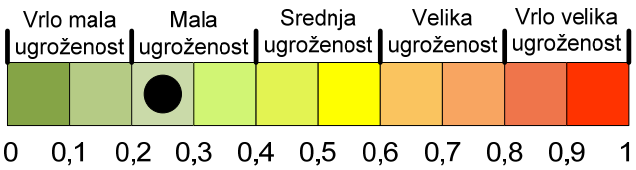


Slika 2: Dijagram procene verovatniće i posledica pretnji

Na osnovu procenjene verovatnoće i posledica ispoljavanja pretnji, primenom jednačine 1 izvršen je proračun opasnosti koje određena pretnja proizvodi po sistem nacionalne bezbednosti. Rezultati proračuna opasnosti određene pretnje *p* prikazani su u tabeli 1. Analizom rezultata može se zaključiti da najmanju vrednost opasnosti ima oružana agresija (0,09) i sporovi uz upotrebu oružja (0,06), dok najveću vrednost opasnosti imaju problemi ekonomskog razvoja (0,54), masovne ilegalne migracije (0,36) i visokotehnološki kriminal (0,35).

Na osnovu verovatnoće i posledica koje svaka pretnja predstavlja po nacionalnu bezbednost, primenom jednačine 2, proračunata je ukupna ugroženost nacionalne bezbednosti (O) koja iznosi 0,249.

Rezultate procene okruženja je potrebno prikazati donosiocima odluke i drugim zainteresovanim stranama, a radi preduzimanja odgovarajućih mera i podizanja nivoa informisanosti. Primer grafičkog prikaza dat je na slici 3.



Slika 3: Grafički prikaz ukupne ugroženosti nacionalne bezbednosti Republike Srbije

Kombinovana primena kvalitativnog i kvantitativnog pristupa omogućava poboljšanje objektivnosti procene ugroženosti nacionalne bezbednosti. Odgovarajuće grafičko rešenje olakšava razumevanje rezultata procene od strane nadležnih državnih rukovodilaca i drugih lica koja učestvuju u proceni.

5. ZAKLJUČAK

Pravovremena i valjana procena ugroženosti nacionalne bezbednosti stvara uslove za preduzimanje potrebnih mera radi zaštite nacionalnih interesa. Procenu ugroženosti nacionalne bezbednosti potrebno je sprovoditi kombinovanom primenom kvalitativnog i kvantitativnog pristupa.

Primena kvantitativnog pristupa doprinosi poboljšanju objektivnosti procene ugroženosti nacionalne bezbednosti. Njegova primena ograničena je matematičkim modelima koji se primenjuju u proceni.

Prikazani model kvantitativne procene omogućava sagledavanje ukupne ugroženosti nacionalne bezbednosti. Validnost rezultata određena je adekvatnom procenom verovatnoće i posledica ispoljavanja konkretne pretnje bezbednosti.

Model u određenoj meri umanjuje subjektivnost procene, ali je ne eliminiše u potpunosti. Takođe, model nema dovoljan obuhvat da bi se mogao koristiti samostalno, ali može da predstavlja koristan alat u kombinaciji sa drugim metodama i tehnikama procene bezbednosti .

Pored samih pretnji, na ugroženost nacionalne bezbednosti utiče i sposobnost sistema nacionalne bezbednosti za suprotstavljanje pretnjama. U budućem istraživanju model je potrebno nadograditi sa procenom unutrašnjih aspekta sistema nacionalne bezbednosti, odnosno procenom njegovih sposobnosti za suprotstavljanje pretnjama bezbednosti.

LITERATURA

[1] Bahtijarević-Šiber, F., & Sikavica, P. (2001). Leksikon menadžmenta. Zagreb: Masmedija.

[2] Bryson, J. M., & Alston, F. K. (2011). Creating your strategic plan- a workbook for public and nonprofit organizations (3nd Edition izd.). San Francisco: Jossey-Bass.

[3] Čupić, M., & Suknović, M. (2008). Odlučivanje. Beograd: Fakultet organizacionih nauka

[4] Kovač, M., & Stojković, D. (2009). Strategijsko planiranje odbrane. Beograd: Vojnoizdavački zavod.

[5] Masera, M., & Nai Fovino, I. (2007). Parameters for Quantitative Security Assessment of Complex Systems. Workshop on Assurance Cases for Security. The Metric Challenge. Edimburgh: DSN-07, Dependable Szstems and Networks.

[6] Ministarstvo odbrane Republike Srbije. (2009). Strategija nacionalne bezbednosti. Beograd: Medija centar "Odbrana".

[7] Robbins, S. P., & Coulter, M. (2007). Management. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

[8] Tatomir, D. (2011, Proleće). Vojno delo. Procena izazova, rizika i pretnji bezbednosti Republike Srbije u funkciji planiranja upotrebe Vojske Srbije , str. 41-55.

[9] Termiz, DŽ., & Milosavljević, S. (2008). Analitika. Lukavac: NIK GRAFIT.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

УПРАВЉАЊЕ РИЗИЦИМА У ВОЈНОМ ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ

RISK MANAGEMENT IN MILITARY ROAD TRAFFIC

МИЛОМИР ИСАИЛОВИЋ[1], МИЛАН КАНКАРАШ[2], СРЂАН ДИМИЋ[3]

[1]Министарство одбране Републике Србије, Београд, milomir.isailovic@mod.gov.rs
[2]Министарство одбране Републике Србије, Београд,milan.kankaras@mod.gov.rs
[3] Министарство одбране Републике Србије, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs

Резиме: *Остваривање основне делатности савремених организација подразумева и изложеност различитим неочекиваним догађајима, односно ризику. Ради умањења могућих ризика организације процењују окружење у којем функционишу и промену чинилаца тог окружења ради препознавања могућих нежељених догађаја и правовременог предузимања потребних мера ради смањења вероватноће њиховог остваривања и смањења последица. Процес који омогућава смањење ризика јесте управљање ризицима и у том процесу примењују се различите методе и алати. У овом раду приказана је могућност примене софтвера @Risk у процесу управљања ризицима у војном друмском саобраћају. Решења приказана у раду представљају визију аутора, а могу бити корисна за примену у свим организацијама за управљање ризицима не само у саобраћају, него и другим областима.*

Кључне речи: *процена ризика, управљање ризицима, војни друмски саобраћај, саобраћајна незгода, @Risk.*

Abstract: *Modern organizations are exposure to various unexpected events, or risk. In order to mitigate the potential risks, they assess the environment in which the factors of the environment function as well, in order to identify possible unwanted events and take timely measures to reduce the like lihood of their achievement and reduction of consequences. Process of risk reduction is risk management, and different methods and tools are used in this process. This paper presents the possibility of using @Risk software in the process of risk management in military road traffic. The solutions presented in this paper represent the vision of the author and can be useful for use in all risk management organizations not only in traffic but also in other areas.*

Keywords: *Risk Assessment, Risk Management, Military Road Traffic, Traffic Accident, @Risk.*

1. УВОД

Безбедност саобраћаја представља велики проблем у савременом свету. У саобраћају сваке године гине и бива повређен велики број људи и проузрокује се велика материјална штета. Војни друмски саобраћај није изузетак. Да би се смањио број саобраћајних незгода (СбН) потребно је предузимати мере које ће обезбедити:

- Правилно понашање возача и других учесника у саобраћају како би се избегле све околности које могу да доведу до саобраћајне незгоде;
- Исправност и опремљеност возила активним и пасивним системима безбедности и
- Квалитетне путеве и саобраћајну инфраструктуру.

Овај рад бави се пре свега понашањем возача у војном друмском саобраћају и помоћу управљања ризиком покушава да препозна узроке саобраћајних незгода на које се може најефикасније деловати на смањење укупног броја саобраћајних незгода, а самим тиме последица саобраћајних незгода.

У раду приказана је могућност примене софтвера @Risk у процесу управљања ризицима у војном друмском саобраћају. Решења приказана у раду представљају визију аутора, а могу бити корисна за примену и у другим организацијама за управљање ризицима.

2. УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ

Ризик у најширем смислу представља могућност трпљења губитака или штете односно „фактор, ствар или елемент који укључује неизвесност и опасност“ (American Heritage Dictionary, 2017). Ризик

може имати поред негативног и позитиван утицај на остварење циља, што је посебно изражено у финансијском сектору (спремност за преузимање ризика ради остваривања профита).

Ризик подразумева две основне компоненте: (I) нежељени губитак или последицу и (II) неизвесност у одигравању последица, па према томе ризик представља: „могућност реализације нежељене последице неког догађаја“ (Чупић & Сукновић, 2010)

Појединачан, односно индивидуалан ризик, представља производ потенцијалног губитка и вероватноће да се нежељени догађај оствари, а може се представити изразом 1.

$$R_i = L_i * p(L_i) \quad (1)$$

где је:

R_i – *ризик*

L_i – *потенцијални губитак*

$p(L_i)$ – *вероватноћа да се догоди*

Веома је редак случај да за одређену појаву постоји само један ризик, већ готово увек постоји више ризика, па би се укупан ризик представља изразом 2.

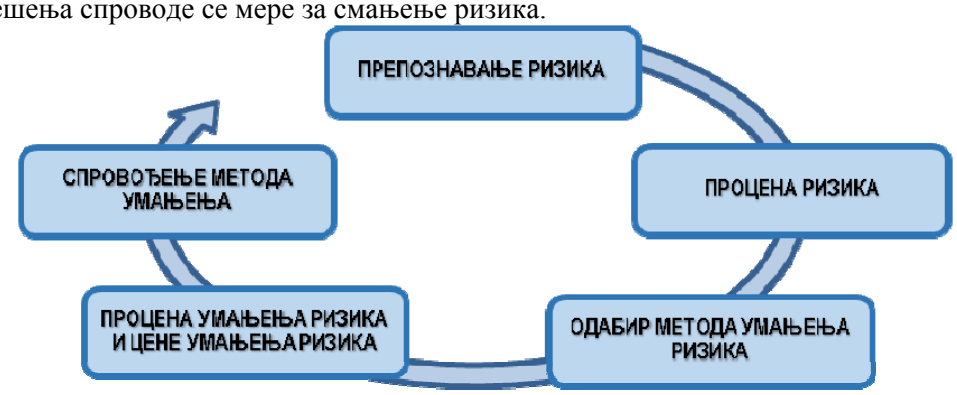
$$R_{total} = \sum_i \quad L_i * p(L_i) \quad (2)$$

Ради очигледнијег приказивања могућих ризика и сагледавања њиховог укупног утицаја практично је њихова квантификација, односно изражавање у конкретним бројкама. Уколико је могуће да се фактори искажу у бројевима, ризик би могао бити квантификован. На основу наведеног појма ризика, може се закључити да се деловањем на смањење вероватноће остварења нежељеног догађаја и/или смањења могућих последица, може смањити и ризик. Приликом остваривања делатности, организације се неминовно суочавају са бројним ризицима које не могу да избегну, већ могу само да прихвате њихово постојање и предузму све могуће мере ради умањења последица и вероватноће остваривања, односно, да ефикасно управљају ризицима. У литератури постоје различити приступи дефинисању појма управљање ризицима.

Према ISO 31000:2009 стандарду за управљање ризиком (Risk Management) представља идентификацију, оцењивање, одређивање приоритета, координирање и економично примењивање ресурса, како би се смањио утицај нежељеног догађаја и повећао успех (International Organization for Standardization, 2017). Даглас Хубарт сматра да управљање ризиком представља препознавање, процену и гради рање ризика, затим координирану и рационалну употребу ресурса са циљем минимизирања, праћења и контролисања вероватноће да се догађај деси и / или утицаја догађаја (Douglas, 2009). Као што се види постоје разлике у приступима, али већина аутора се слаже да је за ефикасно управљање ризицима потребно одговорити на три питања:

- Шта би могло да крене лоше?
- Колико је вероватно да се то деси?
- Ако се деси, које су последице?

Према Дагласу Хубарту процес управљања ризиком обухвата пет корака (Douglas, 2009). Први корак у процесу управљања ризиком је препознавање ризика, у овом кораку препознају се појаве које представљају ризик. Следећи корак је процена ризика, што представља мерење ризика, односно ако је могуће квантификовање ризика према наведеној формули. У наставку се анализира однос цене мера које се предузимају и умањења ризика које се постиже мерама (cost-benefit analyses). По изналажењу оптималног решења спроводе се мере за смањење ризика.



Слика 1: Процес управљања ризиком (прилагођено: **(Douglas, 2009)**)

Да би се смањио ризик од нежељених догађаја потребно је радити на спречавању или бар ка смањењу ризика у својим процесима рада.

3. ПРОЦЕНА РИЗИКА У ВОЈНОМ ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ

Ради остваривања своје основне делатности, сложени организациони системи реализују бројне задатке и активности, при чему се суочавају са различитим ризицима. У односу на врсту делатности, војни организациони системи могу да се сврстају у организационе системе чија делатност подразумева високо ризичне активности. Реализовањем тих активности војна организација суочена је, поред условно речено општих ризика, и са специфичним ризицима који су карактеристични само за војну организацију, а један од примера јесте војни друмски саобраћај.

Учесници у војном друмском саобраћају годишње пређу готово 30 милиона километара. Нежељени, али и неизбежни догађаји који су везани за обављање војног друмског саобраћаја, као и саобраћаја уопште, јесу саобраћајне незгоде. Према званичним подацима, у војном друмском саобраћају годишње се догоди између 74 и 129 саобраћајних незгода уз мање и веће последице (табела 1).

Табела 1: Преглед укупног броја саобраћајних незгода и последица за период 2008-2016. године

Година	Број СбН	Последице саобраћајних незгода						
		Погинуло			Повређено			
		Припадника МО и ВС	Лица ван МО и ВС	Укупно	Припадника МО и ВС	Лица ван МО и ВС	Укупно	Укупно пређено km
2008.	111	0	1	1	8	13	21	29.412.000
2009.	129	0	0	0	21	8	29	28.582.000
2010.	128	1	1	2	14	20	34	25.770.000
2011.	118	2	0	2	12	4	16	25.734.000
2012.	105	0	0	0	19	11	30	24.524.000
2013.	74	1	0	1	9	6	15	23.393.000
2014.	81	0	0	0	6	7	13	24.754.000
2015.	98	0	1	1	10	5	15	25.680.000
2016.	101	0	0	0	36	11	47	27.874.000

Узроци саобраћајних незгода могу бити субјективни (људски фактор) и објективни (технички фактор). Најчешћи узроци приказаних саобраћајних незгода углавном су субјективни и односе се на непажњу и непоштовање прописа (табела 2).

Табела 2: Упоредни преглед узрока настанка саобраћајних незгода у периоду 2011-2016. године

Година	Број СбН	Остали објективни узроци	Неисправност возила	Остали субјективни узроци	Управљање под дејством алкохола	Непоштовање прописа	непажња	Непоштовање прописа и непажња	Непоштовање прописа и непажња у %
2011.	118	0	0	5	0	49	64	113	95,9%
2012.	105	4	2	2	0	44	53	97	92,3%
2013.	74	2	2	8	4	34	24	58	78,3%
2014.	81	0	5	0	0	17	60	76	94,1%
2015.	98	0	10	0	5	33	50	83	84,6%
2016.	101	0	0	0	0	62	39	101	100%

Најчешће грешке учесника у војном друмском саобраћају, које су биле узрок саобраћајних незгода јесу (табела 3):

- неприлагођена брзина;
- непоштовање првенства пролаза;
- грешка при вожњи уназад;
- непрописно одстојање;
- грешка при престројавању;
- грешка при мимоилажењу и
- грешка при вожњи напред.

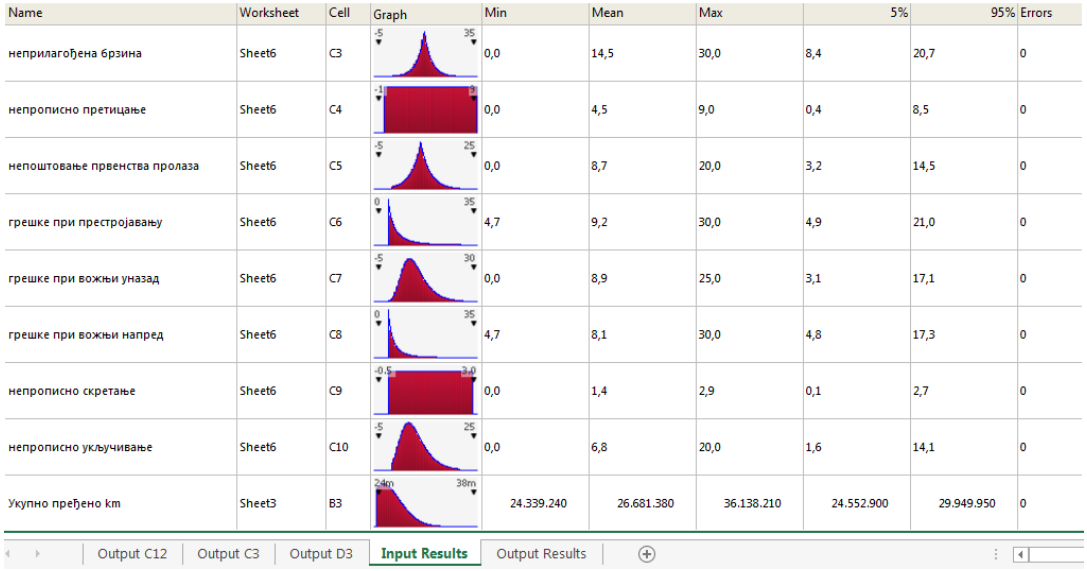
Табела 3: Упоредни преглед грешака возача приликом настанка СбН у периоду 2011-2016. године

година	СбН због непоштовање прописа и непажња	Непрописно одстојање	Неприлагођена брзина	Непрописно претицање	Непоштовање првенства пролаза	Грешке при престројавању	Грешке при вожњи уназад	Грешке при вожњи напред	Непрописно скретање	Непрописно укључивање
2011.	113	20	20	0	19	30	16	4	2	2
2012.	97	19	19	7	9	14	6	22	2	0
2013.	58	17	10	0	10	6	4	6	0	6
2014.	76	9	15	4	12	9	12	7	1	8
2015.	83	10	16	6	2	8	11	8	5	16
2016.	101	23	23	10	10	13	6	10	2	3

Наведени статистички подаци могу се обрадити и на основу тих резултата извршити процена ризика. За обраду статистичких података постоји више различитих метода које су углавном подржане одређеним софтверским решењима. Примена софтверских алата има вишеструке предности, као прво обука људства је знатно једноставнија и јефтинија, примена софтвера омогућава спровођење већег броја симулација у кратком времену и поузданост резултата је већа. То је посебно значајно када на резултат делује више фактора што додатно усложњава симулацију.

Процена ризика у војном друмском саобраћају извршена је применом софтвера @RISK for The Microsoft Excel Decision Tools Suite, Version 7.5 (© PalisadeCorporation) као додатак програма за табеларне калкулације Microsoft Office Excel–а (у даљем тексту: софтвер). Ради процене ризика софтвер врши обраду података и омогућава различите приказе могућих исхода. Математички и објективно израчунава и прати више различитих могућих будућих сценарија и вероватноћа, чиме се може ублажити својеврсна конфузија нагађања, могућих планова и стратегија. Поред вероватноће очекиваних ризика, програм упоређује исте, што значи да се може проценити које ризике приоритетно предупредити. Софтвер омогућава избор и коришћење широког спектра графикона, извештаја и анализа.

На основу статистичких података из табела 1 и 3 употребом софтвера израђен је модел за процену ризика у војном друмском саобраћају. Применом софтвера, а на основу статистичких података, за сваку грешку возача одрађује се посебан дијаграм (Слика 2).



Name	Worksheet	Cell	Graph	Min	Mean	Max	5%	95%	Errors
неприлагођена брзина	Sheet6	C3	-5 35	0,0	14,5	30,0	8,4	20,7	0
непрописно претицање	Sheet6	C4	-1 9	0,0	4,5	9,0	0,4	8,5	0
непоштовање првенства пролаза	Sheet6	C5	-5 25	0,0	8,7	20,0	3,2	14,5	0
грешке при престројавању	Sheet6	C6	0 35	4,7	9,2	30,0	4,9	21,0	0
грешке при вожњи уназад	Sheet6	C7	-5 30	0,0	8,9	25,0	3,1	17,1	0
грешке при вожњи напред	Sheet6	C8	0 35	4,7	8,1	30,0	4,8	17,3	0
непрописно скретање	Sheet6	C9	-0.5 3.0	0,0	1,4	2,9	0,1	2,7	0
непрописно укључивање	Sheet6	C10	-5 25	0,0	6,8	20,0	1,6	14,1	0
Укупно пређено km	Sheet3	B3	24m 38m	24.339.240	26.681.380	36.138.210	24.552.900	29.949.950	0

Output C12 | Output C3 | Output D3 | Input Results | Output Results

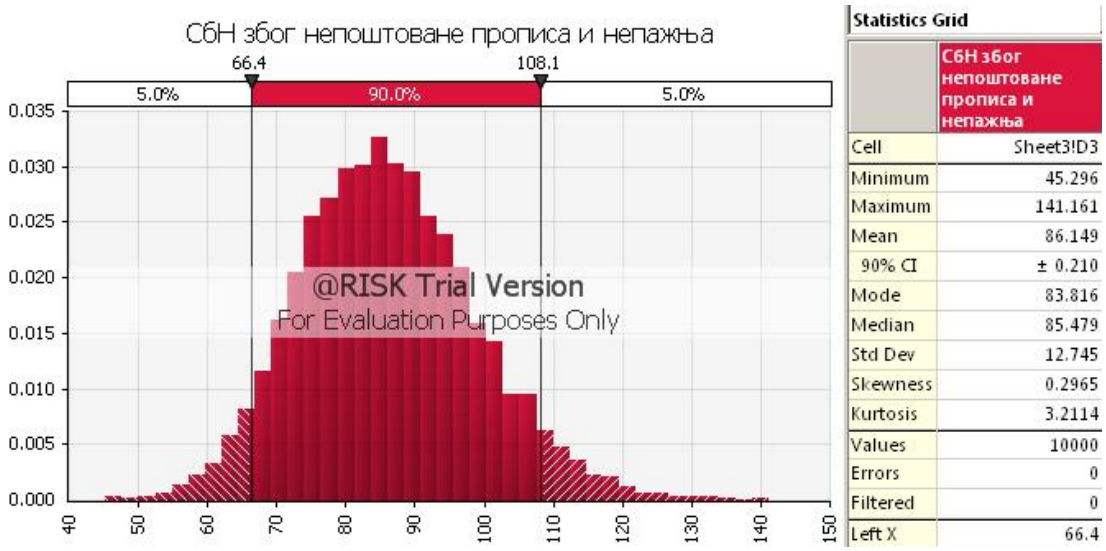
Слика 2: Улазни резултати за симулацију

Након формирања модела и уношења података покреће се симулација, у овом случају са 100.000 интеракција. Резултат се не мења значајно (око 0,0099 %) и уколико се одабере 1.000.000 интеракција. Резултат симулације представља низ могућих исхода, укључујући вероватноће да ће до њих доћи. Сумарни преглед излазних резултата приказан је у табели 4:

Табела 4: Излазни резултати

Укупно пређено km	Укупно СбН	СбН због непоштовања прописа и непажња									
			Непрописно одстојање	Неприлагођена брзина	Непрописно претицање	Непоштовање првенства пролаза	Грешке при престројавању	Грешке при вожњи уназад	Грешке при вожњи напред	Непрописно скретање	Непрописно укључивање
24,553,778	100	89	11	24	5	9	9	8	7	3	13

Табела са излазним подацима приказује резултат симулације али већ у следећој интерацији резултати би били другачији тако да је ова табела више информативног карактера. Исти резултат може бити приказан и графички (слика 3).



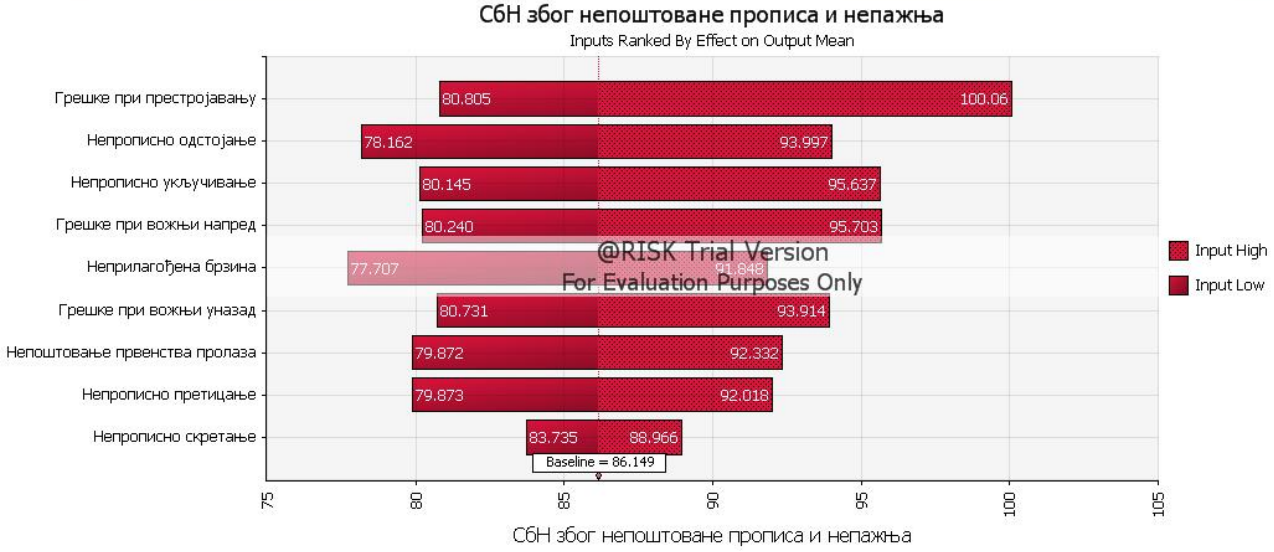
Слика 3: Излазни дијаграм

Графикон приказује корисније податке, тако да се јасно може видети да постоји вероватноћа од 90% да ће број саобраћајних незгода због непоштовања прописа и непажње бити између 66 и 108. Наравно да овај број може бити већи, односно мањи, али је вероватноћа да се то догоди 10%.

4. МОГУЋНОСТ УМАЊЕЊА РИЗИКА У ВОЈНОМ ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ

Након извршене симулације може се предвидети, са великом сигурношћу, број саобраћајних незгода али та информација није довољна за ефикасно управљање ризиком, односно умањење ризика у војном друмском саобраћају. Као што је речено, потребно је препознати на које грешке –елементе треба посебно обратити пажњу да би се ризик смањио.

Посебно употребљив алат софтвера је „торнадо“ дијаграм, који представља својеврсну анализу осетљивости. (Слика 4)



Слика 4: Излазни дијаграм „торнадо“

Дијаграм указује на то да грешке у престројавању могу највише утицати на повећање броја саобраћајних незгода док грешке због непрописног одстојања и грешке због непоштовања брзине могу највише утицати на смањење броја незгода.

На основу наведеног може се видети да се на укупан број саобраћајних незгода изазваних непажњом или непоштовањем прописа најефикасније може деловати ако се ради на смањењу грешака возача при престројавању и грешака због непрописног одстојања. Пошто се овде ради пре свега о субјективним грешкама возача, мера за смањење броја саобраћајних незгода, у овом случају, била би додатна обука, а возаче би требало додатно информисати да посебно поведу рачуна на престројавање, на одржавање прописаног/безбедног одстојања као и на прилагођавање брзине условима на путу.

5. ЗАКЉУЧАК

Управљање ризиком, у контексту овог рада, односи се пре свега на превенцију дешавања нежељеног догађаја, у овом случају саобраћајних незгода. На основу прикупљених података у претходних шест година највише саобраћајних незгода изазвано је због непажње и непоштовања прописа. Ова два узрока препозната су као главни ризици за безбедност у војном друмском саобраћају. Извршена је процена ризика на основу статистичких података применом софтвера @RISK forThe Microsoft Excel DecisionToolsSuite, Version 7.5 (© PalisadeCorporation) и утврђено је да ће се десити од 67 до 109 саобраћајних незгода као последице непажње и непоштовања прописа и то са вероватноћом од 90%.

Применом наведеног софтвера, пре свега дијаграма „торнадо“, препознато је да на укупан број саобраћајних незгода највише утичу грешке при престројавању, грешке због непрописног одстојања и неприлагођена брзина. Са овом информацијом може се ефикасније и уз мање трошкове деловати на смањење укупног броја саобраћајнихнезгода.

У раду је приказан пример управљања ризиком коришћењем симулација помоћу алата за подршку одлучивању. Применом ове методе умањује се субјективност доносиоца одлуке у управљању ризиком у војном друмском саобраћају.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *American Heritage Dictionary.* (2017, June 18). Retrieved from https://ahdictionary.com/word/search.html?q=risk

[2] Douglas, H. (2009). *The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It.* Hoboken: John Wiley & Sons.

[3] *International Organization for Standardization*. (2017, June 18). Retrieved from https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-1:v1:en (приступ:18.6.2017.)

[4] Чупић, М., & Сукновић, М. (2010). *Одлучивање.* Београд: Факултет организационих наука.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

IZBOR POLOŽAJA PROTIVOKLOPNE BATERIJE U ODBRAMBENOJ OPERACIJI PRIMENOM METODA RANGIRANJA I METODE VIKOR

THE SELECTION OF THE ANTI-ARMOUR BATTERY FIRING POSITION IN A DEFENSIVE OPERATION BY APPLICATION OF THE RANKING METHOD AND VIKOR METHOD

DRAGAN BOJANIĆ[1], VLADIMIR RISTIĆ[2], MARINA BOJANIĆ[3]

[1]Univerzitet odbrane, dragan.bojanic@mod.gov.rs
[2]Univerzitet odbrane, vladimir.ristic@mod.gov.rs
[3]ETŠ "Nikola Tesla" Pančevo, marbojanic@gmail.com

Rezime:*Kroz rad je prikazan jedan pristup u izboru protivoklopnog položaja (POP) protivoklopne baterije u odbrambenoj operaciji Kopnene vojske. Za navedeni izbor izrađen je model koji je zasnovan na više metoda. Kriterijumi i njihov rang definisani su analizom dostupne literature i iskustveno. Težinski koeficijenti kriterijuma dobijeni su primenom nekoliko metoda rangiranja: metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera, metoda sume rangova, metoda inverznih težina i metoda geometrijskih težina. Konačni težinski koeficijenti izračunati su primenom metode geometrijskog osrednjavanja. Za izbor najbolje alternative koristi se metoda višekriterijumskog kompromisnog rangiranja (VIKOR).*

Ključne reči:*metode rangiranja, VIKOR, protivoklopni položaj.*

Abstract:*Throughout the work, one approach was shown to the selection of the anti-armour position (POP) of the anti-armour artillery battery in the Army's defense operation. Model based on several methods has been createdfor this selection.Criteria and their rankswere defined by the analysis of available literature and experience. The weight coefficients of the criteria were obtained by using several ranking methods: linear weights method with variable direction coefficient, ranking sum method, inverse weights method, and geometric weights method. Final weight coefficients were calculated using the geometric centering method. A multi-criteria compromise ranking method (VIKOR) was used to select the best alternative.*

Keywords:*ranking methods, VIKOR, antitank position.*

1. UVOD

Novo operativno okruženje nameće potrebu za dogradnjom nauka odbrane u oblasti pripreme i izvođenja borbenih operacija (Knežević i Slavković, 2012). Vojska Srbije se u sklopu realizacije dodeljenih misija i zadataka upotrebljava u širokom spektru različitih operacija. Jedan od najznačajnijih načina (borbenog) angažovanja Vojske Srbije je upotreba u odbrambenoj operaciji. Nezaobilazni deo ovih operacija su i protivoklopna dejstva. Cilj protivoklopnih dejstava u odbrambenoj operaciji jeste sprečavanje iznenadnog prodora neprijateljevih oklopnih snaga u elemente sopstvenog borbenog rasporeda (Jotić i Slavković, 2016). Najznačajniji elemenat ove vrste dejstava su protivoklopne baterije. Nedovoljno efikasna i efektivna dejstva protivoklopnih baterija (jedne ili više), mogu značajno da utiču na krajnji ishod odbrambene operacije.

U teoriji odlučivanja razvijen je veliki broj metoda i tehnika koje su našle široku primenu u procesu donošenja odluka, pri čemu se najčešće koriste metode višeatributivnog odlučivanja. Njih karakteriše donošenje odluka u slučajevima postojanja više definisanih kriterijuma koji su često međusobno konfliktni. Odlučivanje najčešće sadrži mnoštvo međusobno povezanih i uzajamno zavisnih faktora čije uticaje nije jednostavno precizno (konzistentno) prepoznati i povezati u celinu ishoda (odluke). Ovo sve više ukazuje na neophodnost korišćenja naučno zasnovanih metoda u procesu donošenje odluka.

Izbor (POP) protivoklopnih baterija, prikazan u ovom radu, izvršen je na osnovu modela koji se sastoji iz dve celine: prva, za definisanje težinskih koeficijenata i druga, za rangiranje alternativa. U početnoj fazi, analizom dostupne literature definisani su i rangirani kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor. Definisanje težinskih koeficijenata izvršeno je u dva koraka, gde su u prvom koraku proračunati težinski koeficijenti kriterijuma primenom četiri metode rangiranja: metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom

smera, metode sume rangova, metode inverznih težina i metoda geometrijskih težina. U drugom koraku izvršeno je osrednjavanje dobijenih vrednosti primenom metode aritmetičkog osrednjavanja. Kroz drugu fazu rada, izvršeno je rangiranje alternativa. Rangiranje je izvršeno primenom metode višekriterijumskog kompromisnog rangiranja (VIKOR).

Prikazani primer predstavlja samo jedan segment iz niza odluka sa kojima se donosioci odluka susreću prilikom pripreme I izvođenja odbrambenih operacija.

2. PRIKAZ METODA RANGIRANJA

U višekriterijumskoj optimizaciji često se javlja problem određivanja težina kriterijuma po kojima se vrši optimizacija. Pristupi rešavanju problema određivanja težina kriterijuma uobičajeno se dele na objektivne i subjektivne. Jedan od subjektivnih često korišćenih pristupa određivanja težina kriterijuma jeste pristup zasnovan na rangiranju kriterijuma. Rangiranje kriterijuma, a zatim pretvaranje rangova u težine kriterijuma ima određene prednosti. Osnovna prednost ovog načina određivanja težina kriterijuma jeste da je donosiocu odluke veoma često mnogo lakše da, umesto dodeljivanja numeričkih vrednosti težinama kriterijuma, izvrši njihovo rangiranje. Pri određivanju pojedinačnih težina kriterijuma pretpostavlja se postojanje univerzalne međuzavisnosti između ranga kriterijuma i prosečne težine kriterijuma.

Metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera jeste empirijski razvijena linearna funkcija rang-težina, čiji nagib zavisi od broja kriterijuma (Alfares, Duffuaa, 2009) prikazana u (Milićević, Milenkov, 2014):

$$w_r = 100 - s_n(r-1) \tag{1}$$

gde je: w_r – težina, r – rang, s_n – apsolutna vrednost koeficijenta smera dobijena pomoću metode najmanjih kvadrata, pri čemu je broj kriterijuma jednak n. Alfares i Duffuaa su empirijski odredili vrednost:

$$S_n = 3.19514 + 37.75756/n \tag{2}$$

Vrednosti težina kriterijuma dobijene ovom metodom nalaze se u intervalu od 0 do 100. Aditivnom normalizacijom te vrednosti se svode na interval 0–1.

Metoda sume rangova jeste linearna funkcija prikazana u (Milićević, Milenkov 2014):

$$w_r = \frac{2(n+1-r)}{n(n+1)} \tag{3}$$

Metoda inverznih težina prikazana je u (Milićević, Milenkov 2014):

$$w_r = \frac{\frac{1}{r}}{\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{j}} \tag{4}$$

gde je: r - rang, j=1,2,...,n kriterijumi.

Metoda geometrijskih težina prikazana je u (Milićević, Milenkov 2014):

$$w_r = \frac{1}{(\sqrt{2})^{r-1}} \tag{5}$$

Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom geometrijskih težina ne zavise od broja kriterijuma i nalaze se u intervalu 0–1. Zbir aditivno normalizovanih vrednosti težina kriterijuma iznosi 1.

Primenom navedenih metoda vrši se pretvaranje individualnih rangova u težine. Nakon dobijanja individualnih težina potrebno je izvršiti formiranje grupnih vrednosti težina kriterijuma primenom matematičkih metoda objedinjavanja individualnih težina (rangova) primenom: metode aritmetičkog osrednjavanja težina kriterijuma, metode geometrijskog osrednjavanja težina kriterijuma i metode geometrijskog osrednjavanja rangova kriterijuma. U radu je primenjena metoda aritmetičkog osrednjavanja.

Metodom aritmetičkog osrednjavanja prvo se vrši pretvaranje individualnih rangova u individualne težine, a zatim se proračunava srednja vrednost težina svakog kriterijuma. Alfares za pretvaranje individualnih rangova u težine preporučuje primenu metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera. Agregirane težine kriterijuma dobijaju se aritmetičkim osrednjavanjem težina dobijenih od svih m metoda rangova:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_{ij}}{m} \qquad j = 1, \ldots\ldots, n \tag{6}$$

3. PRIKAZ METODE VIKOR

Metoduvišekriterijumskogkompromisnograngiranja (VIKOR) razvio je Serafim Opricović (Opricović, 1986).Metoda VIKOR razvijena je naosnovu elemenata iz kompromisnog programiranja polazeći od „graničnih“ formi Lp-metrike (Opricović S. (1992)). Ova metrika predstavlja rastojanje između idealne tačke *F** i tačke *F(x)* u prostoru kriterijumskih funkcija (Nikolić at al 2010).
Polazna tačka metode VIKOR je početna matrica odlučivanja (slika 1).

$$D = \begin{array}{c} \\ \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ . \\ . \\ . \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} X_1 & X_2 & X_3 & \cdots & X_n \end{array} \\ \begin{array}{ccccc} W_1 & W_2 & W_3 & \cdots & W_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \cdots & X_{2n} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & \cdots & X_{3n} \\ . & . & . & & . \\ . & . & . & & . \\ . & . & . & & . \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{m3} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

Slika 1: Početna matrica odlučivanja

Matricom odlučivanja definisano je m alternativa i n kriterijuma. Svakom kriterijumu pridružuje se težina kriterijuma w_i. Težine kriterijuma treba da zadovolje uslov:

$$\sum_{i=1}^{n} w_1 = 1 \tag{7}$$

Nakon definisanja matrice odlučivanja pristupa se primeni metode. Prvi korak u primeni metode VIKOR je određivanje vrednosti x_i^* i x_i^-, koje se vrši primenom izraza:

$$x_i^* = \max(x_1, x_2, \ldots, x_n); i = 1,2, \ldots, n; \tag{8}$$

$$x_i^- = \min(x_1, x_2, \ldots, x_n); i = 1,2, \ldots, n; \tag{9}$$

Drugi korak u primeni metode VIKOR je određivanje pesimističkog (S_j) i očekivanog rešenja (R_j).

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} w_i(x_i^* - x_{ij})/(x_i^* - x_i^-); j = 1,2, \ldots m \tag{10}$$

$$R_j = \max[w_i(x_i^* - x_{ij})/(x_i^* - x_i^-)]; j = 1,2, \ldots m \tag{11}$$

Sledeći korak je proračun kompromisnog rešenja Q_j:

$$Q_j = v \cdot \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \cdot \frac{R_j - R^*}{R^- - R^*}; \; j = 1, 2, \ldots, m \tag{12}$$

gde je:

$$S^* = \min S_j \tag{13}$$

$$S^- = \max S_j \tag{14}$$

$$R^* = \min R_j \tag{15}$$

$$R^- = \max R_j \tag{16}$$

v – težinastrategijazadovoljenjavećinekriterijuma, $v \in \{0.25, 0.5, 0.75\}$.

Poslednji korak u primeni metode VIKOR je rangiranjealternativa. Skup alternativa može da se rangira na osnovu vrednosti kriterijumske funkcije koje su dodeljene svakoj alternativi Q_j. Najbolju alternativu predstavlja ona koja je najmanje udaljena od idealne vrednosti odnosno čija vrednost Q_j je minimalna, i obrnuto.Kao merodavna uzima se rang lista za vrednost *v=0.5,*no i pored toga što je prva na ovo listi ta akcija mora da zadovolji još dva uslova (Nikolić at al 2010):

- da postoji dovoljna prednost (veća od "praga dovoljne prednosti) u odnosu na drugu, treću i ostale alternative što se utvrđuje prema sledećem:

$$Q\left(a^{`}\right) - Q\left(a^{``}\right) \geq DQ \tag{17}$$

$$DQ = \min\left(0.25, \frac{1}{m-1}\right) \tag{18}$$

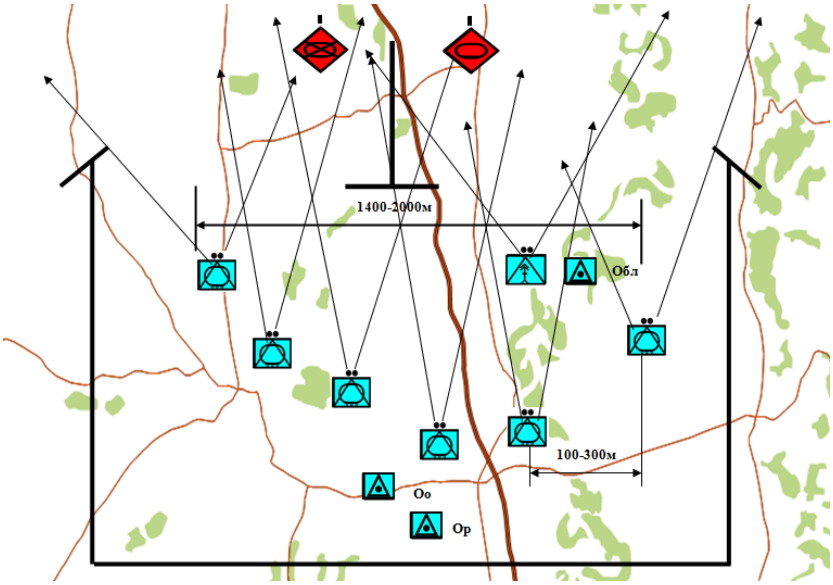
Gde $a^{`}, a^{``}$ predstavljaju dobijene vrednosti prvorangirane i drugorangirane alternative, respektivno, po Qj(v=0.5), a m broj alternativa. Prag dovoljne prednosti se uzima 0.25 u slučajevima kada postoji mali broj alternativa.

- da ima dovoljno stabilnu poziciju odnosno da ma prvu poziciju prema rang listi QS, ili prema QR ili prema Q za *v=0.25 i v=0.75*

4. IZBOR (POP) PROTIVOKLOPNE BATERIJE PRIMENOM METODA RANGIRANJA I METODE VIKOR

Opis problema i rangiranje kriterijuma

Samohodna protivoklopna baterija (spb) načelno dejstvuje samostalno, a može biti pridata drugoj jedinici brigadnog nivoa. Sastavljena je od samohodnih lansirnih oruđa LRSP M83. Osnovni zadatak spb u odbrani je zaustavljanje brzih prodora, slamanje napada i uništavanje neprijateljevih oklopnih i mehanizovanih sredstava (Pravilo samohodna baterija-vod, 2016). Svoje zadatke spb izvršava sa protivoklopnog položaja (POP) (slika 2). POP (alternative) baterija poseda, posle izvršenog manevra iz protivoklopnog rejona i na njemu izvodi protivoklopna dejstva. POP se određuju (biraju) na predviđenim pravcima dejstva baterije koje neprijateljevi tenkovi ne mogu obići i koji odgovaraju uslovima navedenim za protivoklopni rejon. Na jednom pravcu dejstva određuju se, načelno, jedan do tri protivoklopna položaja. Širina i dubina POP za bateriju zavise od konfiguracije zemljišta, broja oruđa u bateriji i zamisli za vođenje protivoklopnih dejstava (Pravilo samohodna baterija-vod, 2016).



Slika 2: Prikaz baterije na POP-u

Komandovanje baterijom u borbenim dejstvima je vrlo složeno i stalno izloženo narušavanju zbog: rastresitog borbenog rasporeda; čestih promena i brzog razvoja borbenih dejstava; osetljivosti na pešadijska dejstva i vazduhoplovna dejstva; velike dinamičnosti borbenih dejstava; ograničenog vremena za izvršenje priprema za dejstvo; složenosti organizovanja komunikacija i teškoća u njenom održavanju.

Pravila i uputstva regulišu načelne kriterijume grupisanja artiljerije i njenog razvoja za dejstvo, kao i deo uslova koje treba da ispunjava POP radi njegovog izbora kao alternative. Međutim, u dostupnoj literaturi ova problematika nije do kraja razrađena, nije sistematizovana, niti je razrađen način izbora POP (nisu precizno definisani kriterijumi, njihove težinske vrednosti i njihov međusobni odnos, kao ni specifičnosti u različitim borbenim operacijama). Shodno tome, donosioci odluka obično vrše izbor POP spboslanjajući se na stečena

teorijska znanja, iskustvo i procenu u konkretnoj situaciji. Veći broj kriterijuma koji utiču na rangiranje i izbor alternativa ukazuje na mogućnost primene metoda višekriterijumskog odlučivanja.

Za potrebe izbora najpovoljnijeg POP u odbrambenoj operaciji definisano je sedam kriterijuma. Na osnovu dostupne literature definisani su i rangirani kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor. Izvidnicu POP baterija obrazuje za izviđanje protivoklopnih rejona, položaja, pravaca dejstva i za određivanje mesta elemenata borbenog rasporeda. Shodno tome rangirani su sledeći kriterijumi:

K_1 – *„daljina do rejona ciljeva“*- daljina na kojoj će baterija neutralisati neprijateljeska oklopna sretstva na pravcu napada;

K_2 – *„brzina posedanja POP“* - predstavlja procenjenu vrednost za koju će lansirna orudja iz očekujućeg rejona izvršiti dolazak na POP;

K_3 – *„brzina napustanja POP*“ -predstavlja procenjenu vrednost za koju će lansirna orudja izvršiti odolazak sa POP

K_4– *„uslovi za utvrđivanje“* -karakteristike terena koje omogućavaju uspešno utvrđivanje artiljerijskih oruđa radi obezbeđenja zaštite ljudstva i oruđa od neposrednog dejstva neprijatelja;

K_5 – *„uslovi za manevar“* - karakteristike terena kojima se ceni mogućnost brzog premeštanja na naredni vatreni položaj;

K_6– *„uslovi za maskiranje“* - karakteristike terena koje omogućavaju uspešno maskiranje spb i pokreta delova spb kao i maskiranje dejstava oruđa od izviđanja, elektronskog dejstva i vatrenog dejstva neprijatelja;

K_7– *„kvalitet prilaznih puteva“* - karakteristike puteva kojima se ceni mogućnost brzog i uspešnog posedanja i napustanja POP.

Proračun težinskih koeficijenata kriterijuma

Vrednosti kriterijuma K_1, K_2 i K_3 opisuju se numerički, a vrednosti kriterijuma K_4, K_5,K_6 i K_7 su opisane lingvističkim deskriptorima, prema (tabela 1).

Tabela 1. Opisna skala lingvističkih kriterijuma

lingvističkideskriptor	veomaloši	loši	srednji	dobri	odlični
dodeljenabrojčanavrednost	1	2	3	4	5

Određivanje težine kriterijuma (tabela 2)izvršeno je u dva koraka gde su u prvom koraku primenom četri metode rangiranja na osnovu (izraza 1 do 4) proračunati težinski koeficijenti kriterijuma, a u drugom koraku izvršeno je osrednjavanje vrednosti (izraz 5).

Tabela 2. Težinski koeficijenti kriterijuma

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
w	0.287	0.203	0.157	0.124	0.098	0.076	0.056

Rangiranje alternativa

U cilju primene metode VIKOR odabrano je šest alternativa (od A_1 do A_6), čime je u potpunosti definisana početna matrica odlučivanja (tabela 3). Alternative pretstavljaju zemljišnu prostoriju, kao što je prikazano na (slika 1), na kojoj će biti raspoređena oruđa.

Tabela 3. Početna matrica odlučivanja

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
	0.287	0.203	0.157	0.124	0.098	0.076	0.056
	min	min	min	max	max	max	max
A_1	1300	6	4	3	5	4	3
A_2	2200	8	2	5	1	3	5
A_3	1950	11	3	2	3	2	3
A_4	1400	10	5	1	2	3	5
A_5	2500	5	6	3	1	2	2
A_6	1700	9	5	5	4	4	4

Primenom četiri koraka metode VIKOR dobijene su vrednosti (tabela 4) udaljenosti alternativa od idealne alternative, na osnovu čega se vrši njihovo rangiranje (tabela 5):

Tabela 4. Konačne vrednosti alternativa

	QSj	QRj	Qj(v=0.5)	Qj(v=0.25)	Qj(v=0.75)
A1	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
A2	0,460	0,656	0,5578	0,6069	0,5088
A3	0,842	0,597	0,7195	0,6583	0,7806
A4	0,638	0,435	0,5366	0,4857	0,5874
A5	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000
A6	0,344	0,273	0,3082	0,2904	0,3260

Tabela 5. Rang alternativa

Alternative	QSj	QRj	Qj (v=0,5)
A1	1	1	1
A2	3	5	4
A3	5	4	5
A4	4	3	3
A5	6	6	6
A6	2	2	2

PremaQj(v=0.5) najbolja alternativa je A_1. Shodno tome, da ova alternativa ispunjava i dva dodatna uslova potrebna za konačno definisanje odluke, može se smatrati logičnim izborom POP. Na osnovu dobijenih rezultata i analizom ispunjenja dva dodatna uslova, alternativa A_6 se ravnopravno mogu smatrati logičnim izborom rezervnog položaja samohodne raketne baterije.

5. ZAKLJUČAK

Analizirajući dobijene rezultate može se zaključiti da se primenjenim metodama rangiranja i metodom VIKOR mogu uspešno vrednovati izabrane alternative (POP) i formulisati strategija odlučivanja prilikom izbora osnovnih i rezervnih položaja samohodne raketne baterije u odbrambenoj operaciji Vojske Srbije. Ovako formulisanom metodologijom odlučivanja smanjuje se naprezanje donosioca odluka i omogućava manje iskusnim licima da donesu kvalitetnije odluke. Definisanu primenu moguće je unaprediti uvođenjem fuzzy lingvističkih deskriptora za kriterijume koji nemaju numerički karakter, kao i modelovanje softverskog rešenja za izbor POP.

6. LITERATURA

[1] Alfares, H.K., & Duffuaa, S.O. (2009) Assigning cardinal weights in multicriteria decision making based on ordinal ranking. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 15, 125-133.

[2] Jotić, S., Slavković, R. (2016). Artiljerijsko-raketna podrška izvođenju operacija, Vojno delo 7/2016. 283.

[3] Knežević, Z., Slavković, R., (2012) „Specifičnosti i problemi upotrebe snaga artiljerijsko - raketne podrške u borbenim operacijama", Vojno delo zima 2012, 115.

[4] Milićević M. i Milenkov M., (2014) Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja, *Vojnotehnički glasnik*, 1, 141-166.

[5] Nikolić M, Radovanović Lj, Desnica E. i Pekez J.(2010) Primena metode VIKOR za izbor strategije održavanja, Tehnička dijagnostika, 8.

[6] Opricović S,(1986) Višekriterijumska optimizacija, Beograd, Naučna knjiga.

[7] Opricović S,(1992) Optimizacija sistema, Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

VEROVATNOĆA PREŽIVLJAVANJA VAZDUHOPLOVNE PLATFORME U SUKOBU JEDAN NA VIŠE

SURVIVAL PROBABILITY OF AIRCRAFT PLATFORM IN CONFLICT ONE ON MORE

DALIBOR PETROVIĆ[1], MILAN KANKARAŠ[2], NENAD KAPOR[3]

[1] Uprava za strategijsko planiranje, dalibor.petrovic@mod.gov.rs
[2] Uprava za strategijsko planiranje, kankaras.milan@outlook.com.rs
[3] Univerzitet Džon Nesbit, Fakultet za civilno vazduhoplovstvo, nkapor@naisbitt.edu.rs

Rezime: *U radu se razmatra sukob dveju vrsta vazduhoplovnih borbenih platformi u međusobnom duelu raketama vazduh-vazduh srednjeg dometa. Imajući u vidu bombardovanje 1999. godine, cilj rada je bio sagledavanje sposobnosti uništenja protivničke platforme u vazdušnom prostoru, kao i mogućnost preživljavanja u sukobu u kome bi vazduhoplovna platforma dejstvovala na višestruko jačeg neprijatelja. Kvalitet efikasnosti vatrene moći vazduhoplovnih platformi razmatran je kao „nasumičan" i „uniformni" način izbora ciljeva. Sukob je analiziran kao model borbe kada platforme vrše istovremeni napad jedna na drugu sa približno istih daljina pripremljenom vatrom.*

Ključne reči: *vazduhoplovna platforma, nasumičan i unformni izbor cilja, verovatnoća preživljavanja.*

Abstract: *The paper deals with the conflict between two types of aircraft combat platforms armed with a mid-range air-to-air missile. Havinvg in mind the bombing in 1999, the aim of the work was to examine the ability to destroy an enemy platform in the airspace as well as the survivalance of a aircraft in conflict against a more powerful enemy. The efficiency quality of the firepower of the aircraft platforms is considered as a "random" and "uniform" way of selecting targets. The conflict is analyzed as a model of battle when the platforms simultaneously attack one another from approximately the same distance with prepared fire.*

Keywords: *aircraft platform, random and uniform choice of target, survival probability.*

1. UVOD

Izbor složenog borbenog sistema koji treba da zadovolji projektovane sposobnosti oružanih snaga, naročito oružanih snaga malih zemalja, prestavlja konstantan problem. Problem se ogleda u određivanja borbenih efikasnosti i mogućnosti analiziranog sistema u borbenoj situaciji. Prilikom analize borbenog sistema treba imati u vidu da je svaki borbeni sistem namenjen da realizuje određeni borbeni zadatak i samim tim treba ga modelirati i analizirati u tom okviru. Ovakav pristup je neophodan radi preciznijeg sagledavanja njegovog efekta delovanja, na osnovu koga će se dobiti stvarna vrednost borbenog sistema na osnovu pokazatelja koliko je simulirani sistem u stanju da izvrši namensku funkciju.

Prilikom simulacije efikasnosti borbenog sistema treba imati u vidu da je pored tehničkog i ljudskog faktora, efekat borbenog sistema u oružanoj borbi uslovljen i delovanjem drugih činilaca. Jedan deo činilaca je izraz specifičnosti određene rodovske funkcije, pa ih je neophodno operacionalizovati i kvantifikovati na način na koji će što realnije oblikovati suštinu, sadržaj i intenzitet uticaja na efekte funkcionisanja borbenog sistema.

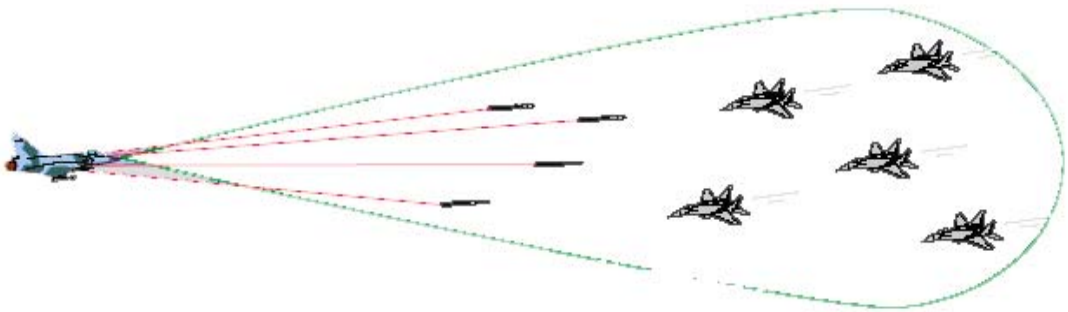
U svim savremenim armijama prilikom sagledavanja kvaliteta nekog borbenog sistema primenjuju se različite analize. Ove analize su neophodne radi dolaženja do što realnijih vrednosti kako borbenih sistema tako i jedinica, radi što objektivnijeg strateškog odlučivanja koji sistem uvesti u naoružanje radi dostizanja definisanih sposobnosti. Međutim veoma je teško odrediti borbene mogućnosti naoružanja i vojne opreme jer se borbene mogućnosti često i gotovo uvek vezuju za njihove tehnološke mogućnosti, pri čemu se nedovoljno uvažava uticaj sposobnost i kreativnost ljudskog faktora na iskorišćenje taktičko tehničkih mogućnosti samog sredstava. Iako modeli nisu savršeni, može se reći da su značajna podrška u donošenju odluka i u dobroj meri smanjuju mogućnost donošenja pogrešnih strateških odluka. Kada se to ima u vidu onda modelovanje oružane borbe, oružanih sukoba i upotrebe borbenih sredstava jedinica jeste pravi put i istovremeno dobar instrument za donosioce odluka na najvišem nivou vojne vlasti.

Imajući sve ovo u vidu u radu će se razmatrati mogućnost preživljavanja vazduhoplovne platforme u sukobu koji bi se vodio protiv sličnih, višestruko brojnijih platformi. Ovakva analiza uslovljena je činjenicom da u sukobima koje bi vodile male zemlje, pretpostavka je da bi neprijateljske snage bile brojčano nadmoćnije. Ključno pitanje je kolika je verovatnoća da vazduhoplovna platforma preživi u takvom jednom sukobu i kolika bi njena efikasnost bila.

U radu se ne razmatraju letne performanse platforme, već je glavni fokus rada usmeren na sposobnost ostvarivanja borbene efikasnosti u vazdušnom prostoru i mogućnost preživljavanja u jednom takvom sukobu.

2. MATEMATIČKI MODEL, USVOJENE HIPOTEZE I SCENARIO

Verovatnoća preživljavanja vazduhoplovne platforme, simulirana je pomoću scenarija u kome vazduhoplovna platforma plavog, koji se nalazi u zoni očekivanja po dobijanju zadatka kreću u presretanje vazduhoplovnih platformi crvenog koji se kreću u grupi od nekoliko vazduhoplova (slika 1). Pretpostavka je da vazduhoplovna platforma može da priđe grupi od nekoliko vazduhoplova na efikasan domet svog naoružanja, i da kad bude uočena izvši dejstvo na njih, međutim, oni će istovremeno uzvratiti dejstvo.



Slika 1: Analizirani scenario

Analiza se zasniva na pretpostavci da obe snage imaju potpunu taktičku informaciju, to jest da je vazduhoplovna platforma u stanju da otkrije najmanje onoliko protivničkih platformi koliko je u stanju da uništi (Milinovic 2014). Pretpostavka je, da crveni u toku dejstva nije u stanju da u potpunosti učini dostupnim sve svoje informacije i koordinira vatrena dejstva po protivničkoj platformi. U stvari, vatrena moć je jedini ograničavajući faktor, a sposobnosti za otkrivanje i koordinaciju smatraju se dovoljnim za izvođenje vatrenog dejstva.

Vazduhoplovne platforme obeju snaga ispoljavaju dejstvo jedna na drugu istovremeno. Nastala situacija u kojoj se jedna vazduhoplovna platforma (plavi) suprostavlja višestruko jačem neprijatelju (crveni) može se naizmenično opisati kao „jedan na više“ i „više na jedan“ (Bracken 1995). S tim u vezi matematički model borbe u radu, vrši zamenu napadača i cilja naizmenično. To jest na osnovu velike daljine između napadača i cilja pretpostavlja se da oni dejstvuju jedan na drugog nezavisno, to jest da dejstvo jednog ne utiče na dejstvo drugog, imajući u vidu činjenicu da raketama treba više vremena da stignu do cilja nego što je cilju potrebno da izvrši dejstvo. Ukupan efekat zavisiće od načina raspodele ciljeva, pa tako za vazduhoplovnu platformu plavog će se primeniti uniformno dodeljivanje ciljeva, imajući u vidu da ona samostalno dejstvuje i neće doći do preklapanja ciljeva. Za grupu vazduhoplovnih platformi crvenog primenjen je nasumičan izbor cilja.

Platforme su naoružane u konfiguraciji vazduh-vazduh namenjenoj za prevlast u vazdušnom prostoru, što znači da nose samo rakete vazduh-vazduh različitog dometa. Ukupan broj raketa (N), u simulaciji je dat kao:

$$N = M \cdot J \tag{1}$$

ovde je:

M - broj platformi koji vrši dejstvo,

J – broj gadjanja (plotuna),

Kada vazduhoplovna platforma plavog dođe u zonu dejstva, uz pretpostavku da plavi može istovremeno da gađa više ciljeva, svakoj meta zahvaćenoj radarom biće dodeljen određen hitac (L), (Przemieniecky 2000), po sledećem:

$$L = N / M_C \tag{2}$$

M_C - ukupan broj broj gađanih platformi crvenog

Verovatnoća preživljavanja pojedinačne vazduhoplovne platforme crvenog je:

$$S_{CI}(L) = (1 - p_P)^L = (1 - p_P)^{N/M_C} \tag{3}$$

p_P - verovatnoća uništenja vazduhoplovne borbene platforme crvenog jednom raketom plavog

Kako, *L* nije celobrojna vrednost, jednačinu (2) možemo izraziti kao:

$$L = I + F \tag{4}$$

gde je:

I - celobrojna vrednost rezultata jednačine (2), a

F - decimalna vrednost rezultata jednačine (2)

Optimalno gadjanje vazduhoplovne platforme plavog je kada se za: $I + 1$ hitac dodeljuje $F \cdot M_C$ ciljeva i za *I* hitaca $(1 - F)M_C$ ciljeva. U tom slučaju vrednost verovatnoće preživljavanja crvenog je:

$$S_C(L) = FS_I(I + 1) + (1 - F)S_I(I) \tag{5}$$

Zamenom jednačine (3) u jednačinu (5) dobija se:

$$S_C(L) = (1 - p_P)^I (1 - p_P F) \tag{6}$$

Odavde dobijamo da je očekivani broj preostalih vazduhoplovnih platformi crvenog:

$$E_C = M_c \cdot S_C(L) \tag{7}$$

U situaciji kad borbena grupa crvenog naiđe na vazduhoplovnu platformu plavog, pretpostavka je da će vođa komandovati da sve platforme gadjaju plavu platformu, što znači da će na plavu vazduhoplovnu platformu biti ispaljeno ukupno N raketa, bez uzimanja u obzir koliko je drugih hitaca dodeljeno plavoj platformi kao i da li je platforma bila oborena od strane drugog hica. Za ovakav slučaj, verovatnoća dodeljena vazduhoplovnoj platformi crvenog da uništi plavog je p_C / M_p. Ovde je $1/M_p$ verovatnoća selektovanja određenog cilja a p_C je verovatnoća uništenja selektovanog cilja u napadu. Odatle, verovatnoća da selektovani cilj preživi napad od selektovanog napadača je $1 - p_C / M_p$. Konačno, da bi preživeo u napadu određeni cilj mora da preživi napad od N nezavisnih raketa. Prema tome, verovatnoća preživljavanja plavog je:

$$S_P = \left(1 - \frac{p_C}{M_p}\right)^N \tag{8}$$

Ovde je:

M_P - ukupan broj broj gađanih platformi plavog

Očekivani broj preživelih ciljeva je:

$$E_P = M_P \cdot S_P \tag{9}$$

Jednačinu (8) možeme napisati u binomnom obliku kao:

$$S_P = 1 - \frac{N}{1!} \cdot \frac{p_C}{M_P} + \frac{N(N-1)}{2!}\left(\frac{p_C}{M_P}\right)^2 - \ldots + \left(\frac{p_C}{M_P}\right)^N \tag{10}$$

Ako je uporedimo sa:

$$e^{-\frac{p_C N}{M_P}} = 1 - \frac{N \cdot p_C}{M_P} + \frac{1}{2!}\left(\frac{N \cdot p_C}{M_P}\right)^2 - \ldots \tag{11}$$

Konačno možemo napisati da je verovatnoća preživljavanja plavog:

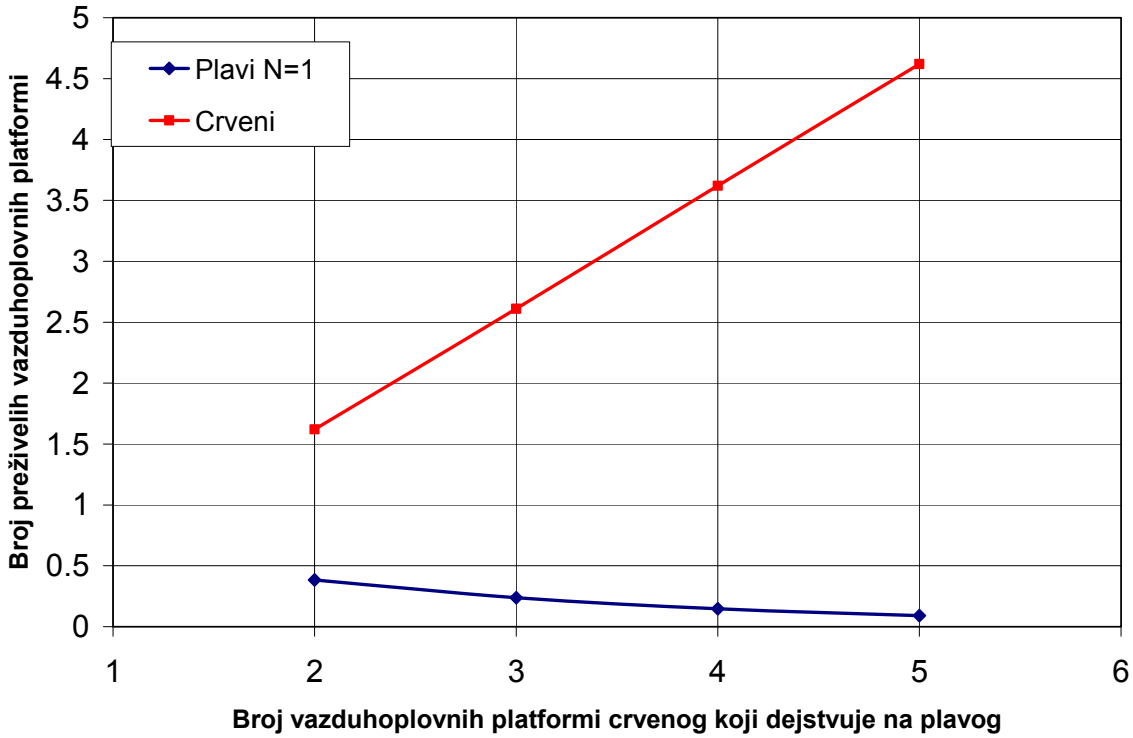
$$S_P \approx e^{-\frac{p_C N}{M_P}} \tag{12}$$

3. REZULTATI SIMULACIJE

Dijagrami preživljavanja vazduhoplovne platforme plavog u sukobu na različite grupe vazduhoplovnih platformi crvenog dati su na slikama 1 i 2. U simulaciji je pretpostavljeno da su vazduhoplovne platforme plavog i crvenog naoružane raketama srednjeg dometa.

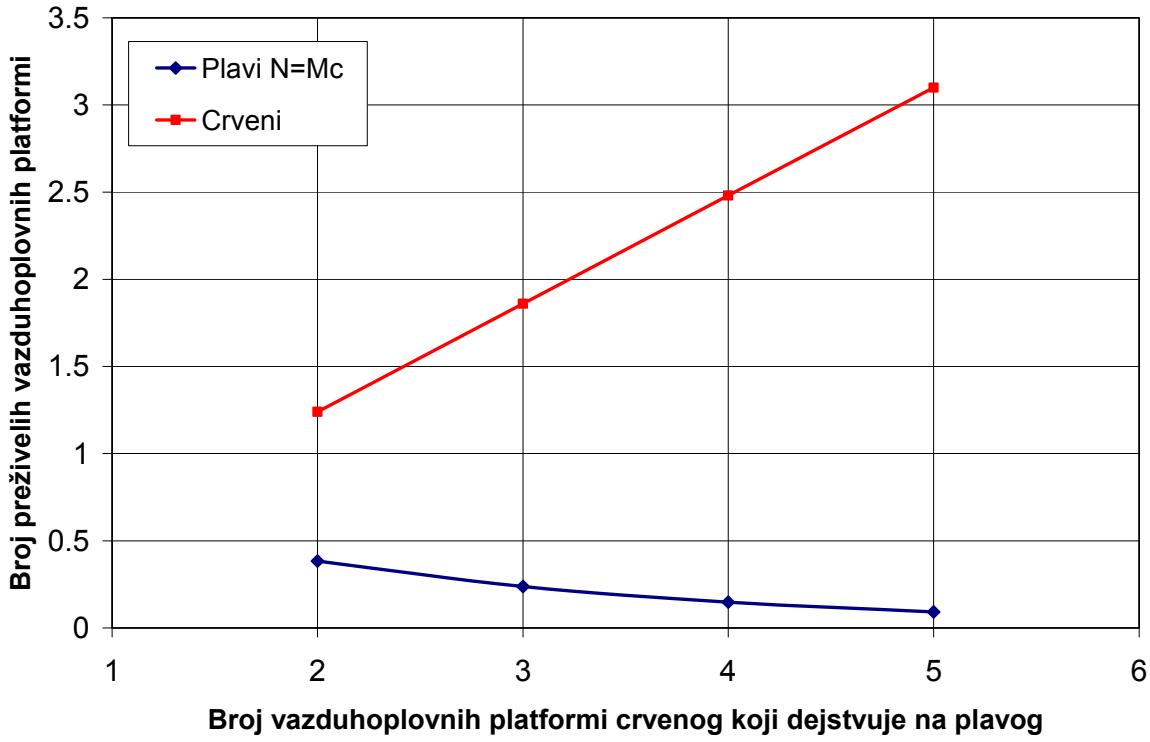
Na osnovu postavljenog modela i jednačina u glavi 2, simulacija je izvedena pod sledećim uslovima:

1. Vazduhoplovne platforme plavog i crvenog mogu da prate i gađaju više ciljeva istovremeno. U simulaciji je to pet ciljeva.
2. Dejstvo platformi se ispoljava sa daljine od 50km.
3. Hipotetička verovatnoća pogađanja raketama jednog i drugog je p=0.38.



Slika 2: Verovatnoća preživljavanja kada plavi dejstvuje sa N=1 projektila po grupi ciljeva

Na dijagramu na slici 2, prikazana je vazduhoplovna platforma plavog u sukobu sa grupama od 2, 3, 4 i 5 vazduhoplovnih platformi crvenog. U ovom sukobu je pretpostavljeno da radar na platformi nije u stanju da zahvati više od jednog cilja, što se odražava na vatreno dejstvo plavog koji u ovom slučaju dejstvuje na grupu sa samo jednom raketom. U ovoj situaciji plavi ne bi mogo da preživi sukob već sa grupom od dva neprijateljska vazduhoplova. U ovakvoj situaciji vazduhoplovna platforma iako bi ispalila jednu raketu ne bi uspela da obori nijednu vazduhoplovnu platformu crvenog.



Slika 3: Verovatnoća preživljavanja kada plavi dejstvuje sa $N = M_C$ projektila

Na dijagramu prikazanom na slici 3, može se uočiti da vazduhoplovna platforma plavog gađa onoliko ciljeva koliko joj se pojavi na efikasan domet naoružanja, međutim iako sposobna da istovremeno gadja sve crvene vazduhoplovne platforme koje joj se pojave, sa istom verovatnoćom kao i crveni, nema mogućnost da preživi u sukobu koji bi vodila sa dve ili više tehnološki slične vazduhoplovne platforme.

Što se tiče učinka koji vazduhoplovna platforma plavog može u ovakvom sukobu da ostvari on se kreće od toga da bi u sukobu koji bi platforma vodila sa dve do tri crvene platforme, mogla da uništi jednu platformu, dok bi u sukobu sa četiri do pet platformi crvenog njen učinak bio uništene dve platforme crvenog.

Iako može istovremeno da gadja veliki broj ciljeva, vazduhoplovnu platformu ne možemo posmatrati kao više platformi, analiza pokazuje da je samo njen učinak nešto veći u sukobu sa više platformi a i dalje je to samo jedan avion.

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazana mogućnost upotrebe vazduhoplovne platforme plavog na višestruko brojnije platforme crvenog, pomoću jednačina verovatnoće preživljavanja za nasumičan i uniformni izbor ciljeva.

Da bi se približno procenila vatrena moć vazduhoplovne platforme, analiziran je slučaj kada vazduhoplova platforma na grupu ciljeva dejstvuje samo jednim hicem i kad je broj ispaljenih raketa jednak broju ciljeva. Ovakvo hipotetičko dejstvo ima za cilj da pokaže da li je svrsishodno da na više vazduhoplovnih platformi dejstvo ispolji jedna vazduhoplovna platforma.

Iako je pretpostavljeno da vazduhoplovna platforma koja se suprostavlja daleko jačem neprijatelju ima sposobnost da gadja sve ciljeve istovremeno, došlo se do zaključka da jedan avion iako može da ispali više raketa (npr. pet istovremeno) ne može se nikako tretirati kao pet aviona. Učinak koji ovakav avion ostvaruje bolji je od učinka koji bi imao avion koji je sposoban da prati više ciljeva a gadja samo jedan cilj. U sukobu vazduhoplovnih platformi bitan je kvalitet naoružanja, međutim, ova analiza nam opet po ko zna koji put pokazuje da je u sukobu podjednako bitan i kvantitet.

LITERATURA

[1] J.S. Przemieniecky. (2000) Mathematical methods in defense analyses, ,Third edition, AIAA, Education Series, Redston, Virginia, USA.

[2] Milinović M., Kovač M., Jeremić O. & Kokelj T. (October 2011). Threshold efficiency probabilities determination of combat systems for joint capabilities approach planning. 4th International Scientific Conference of defensive technologies, OTEH-2011, Belgrade.

[3] J. Bracken, M. Kress & R.E. Rosenthal., Warfare modeling, MORS, USA, 1995.

[4] Priručnik RV i PVO (1980), Bograd SSNO.

[5] M. Milinovic, D. Petrovic, O. Jeremic, Mitar Kovac, Discrete Deterministic Modeling Of Autonomous Missiles Salvos, Defence Science Journal. 64(5) (2014) 471-476.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

METODOLOŠKE OSNOVE ODREĐIVANJA BORBENIH MOGUĆNOSTI VOJNOORGANIZACIONIH SISTEMA

METHODOLOGICAL BASIS OF DETERMINATION COMBAT CAPABILITIES MILITARY ORGANIZATIONAL SYSTEMS

MITAR KOVAČ[1], NENAD KOVAČEVIĆ[2]

[1] Fakultet za projektni i inovacioni menadžment/Univerzitet Educons, mitar.kovac21@gmail.com
[2] Vojna akademija/Univerzitet odbrane, inz.84kula@gmail.com

Rezime: *U članku su date metodološke osnove određivanja borbenih mogućnosti vojnoorganizacionih sistema, kao i postupak kvantifikacije parametara i činilaca, primenom metoda operacionih istraživanja.*

Ključne reči: *borbene mogućnosti, metodološke osnove, vojnoorganizacioni sistemi*

Abstract: *The article comprises methodological basis determining combat capabilities of military organizational system, as well as the method of quantification of the parameters and factors, by using the operational research methods.*

Keywords: *combat capabilities, methodological basis, military organizational systems*

1. UVOD

Definisanje pojma borbene mogućnosti vojnoorganizacionih sistema (komandi, jedinica i ustanova) bitno je teorijsko, doktrinarno i organizaciono pitanje svake savremene vojske u svetu radi planiranja njenog razvoja i što optimalnije upotrebe. U dosadašnjoj praksi izgrađivani su različiti pristupi i metode određivanja borbenih mogućnosti za elementarne borbene sisteme, a ostajali su izraženi problemi objedinjavanja tih rezultata na višim nivoima združivanja i upotrebe snaga. U novije vreme u našoj vojnoj literaturi nekritički je uveden pojam operativnih sposobnosti, čiji sadržaj nije dovoljno dobro i precizno utvrdjen u odnosu na pojam borbenih mogućnosti. Operativne sposobnosti odnose se na kvantitativna i kvalitativna svojstva resursa, odnosno status jedinice i njenu mogućnost da krene na izvršenje zadatka, a borbene mogućnosti predstavljaju izraz verovatnoće ili matematičkog očekivanja učinaka u oružanoj borbi u procenjenim ili predpostavljenim borbenim uslovima (Kovač, Dulanović i Stojković, 2007).

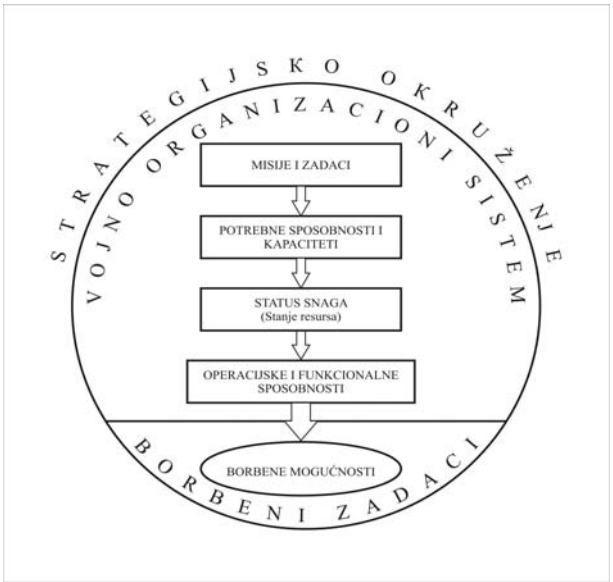
Svaki borbeni sistem, od jednostavnog pa do najsloženijeg, namenjen je da realizuje neke zadatake, tako da je neophodno uvek poći od precizno određenog cilja njegovog funkcionisanja. Na taj način će i učinak (efekat) funkcionisanja reprezentativno pokazati koliko je neki borbeni sistem u stanju da realizuje namensku funkciju. Učinak borbenog sistema (strelac, tenk, artiljerijsko oruđe, protivavionsko oruđe, inžinjerijska mašina, rodovske i združene jedinice i slično) uslovljen je delovanjem razičitih činilaca.

Jedan broj činilaca zajednički je za sve borbene sisteme, a drugi deo činilaca je izraz specifičnosti određene rodovske funkcije, tako da ih je neophodno operacionalizovati i kvantifikovati, na način koji će što realnije odslikati suštinu sadržaj i intenzitet uticaja na efekte funkcionisanja borbenog sistema, odnosno na borbene mogućnosti.

2. POJAM BORBENIH MOGUĆNOSTI

Potrebne sposobnosti se materijalizuju kroz kapacitete za realizovanje funkcija sistema odbrane i njegovih podsistema i elemenata, u miru i ratu. Dakle, može se reći da se kroz kapacitete materijalizuje status ili stanje jedinica u funkciji izgradnje operativnih i funkcionalnih sposobnosti. Vojska i njeni sastavi, na svim nivoima organizovanja, misije i zadatke izvršavaju kroz izvođenje operacija. Sposobnosti koje se utvrđuju za efekte, rezultate ili ciljeve u operacijama treba označavati terminom borbene mogućnosti. Pokazatelji borbenih mogućnosti zbog toga trebaju biti dovoljno egzaktni i uporedivi tako da komandantima i komandama koriste za praćenje stanja jedinica, u smislu mogućnosti izvršenja zadataka, te da im pomažu u procesu donošenja odluka i planiranju operacija. Određivanje borbenih mogućnosti jeste prethodni korak ili sastavni deo procesa donošenja odluka o upotrebi jedinica, u fazi planiranja upotrebe snaga.

Na teorijskom planu potrebno je definisati osnove određivanja borbenih mogućnosti sredstava i jedinica. To je moguće ostvariti kroz uvažavanje savremenih postavki teorije organizacije, teorije sistema, teorije efikasnosti, teorije polemistike i njenih naučnih disciplina. Pri definisanju teorijskih osnova potrebno je uvažiti aktuelna saznanja o fizionomiji savremenih oružanih sukoba, radi što pouzdanijeg definisanja reprezentativnih parametara borbenog sistema i rešavanja niza drugih problema u procesu kvantifikacije. Na osnovu teorijskih osnova taktički nosioci mogu da konkretizuju postupak određivanja vatrenih i borbenih mogućnosti oružja, oruđa i jedinica. Borbene mogućnosti rodovskih, vidovskih ili združenih jedinica mogu se određivati u realnim ili virtuelnim borbenim uslovima, u odnosu na: (1) *zadatu (određenu, naređenu, tabličnu, predviđenu, željenu) vrednost borbenih mogućnosti*; (2) *borbene mogućnosti u specificiranim borbenim uslovima i* (3) *neprijateljeve borbene mogućnosti*. Na slici 1 dat je grafički prikaz kauzalnog odnosa kategorijalnih pojmova u vojnoorganizacionim sistemima.



Slika 1: Međuzavisnost kategorijalnih pojmova

Efekti dejstava, protivdejstava i obezbeđenja jedinica uslovljeni su delovanjem različitih činilaca. Nacionalni pogledi na činioce sposobnosti su slični ali imaju izvesne specifičnosti. U stranoj literaturi kada se koristi termin sposobnosti pretežno se misli na operacijske sposobnosti ili na borbene mogućnosti. Kao činioci sposobnosti uzimaju se u obzir: doktrina, organizacija, obuka, materijalna sredstva, liderstvo i obrazovanje, personal i infrastruktura, ili nešto drugačiji pristup u operacionalizaciji ili objedinjavanju sadržaja pojmova koji ih određuju. (www.dtic.mil/cjcs_directives/cdata/unlimit/3170_01.pdf)

ČINIOCI I ELEMENTI OPERATIVNIH SPOSOBNOSTI

Na osnovu komparativne analize definicija pojma sposobnosti mogu se izvesti neki zajednički činioci koji ih determinišu i elementi koji ispunjavaju sadržaj pojma. Činioci sposobnosti su eksternog i internog karaktera u odnosu na vojnoorganizacioni sistem koji se posmatra. Najbitniji činioci sposobnosti su: *doktrina, organizacija, kadrovi, naoružanje i vojna oprema, obuka, obrazovanje, infrastruktura i innteroperasbilnost.* Svaki od pomenutih činilaca može se posebno operacionalizovati i ima konkretan izraz za svaki sistem, kroz kvantitativna i kvalitativna svojstva.

Imajući u vidu specifičnosti borbenih mogućnosti, kao i veze i odnosa sa operativnim sposobnostima, može se reći da operativne sposobnosti u celini i pojedinačne sposobnosti direktno utiču na činioce borbenih mogućnosti i na njihov kvantiativni i kvalitativni izraz. Pre svega to su:

- sposobnost upravljanja - komandovanja (Sk);
- sposobnost iskorišćenja informacionog prostora (Sin);
- sposobnost razmeštaja i mobilnosti u zoni operacija (Srm);
- sposobnost delotvorne upotrebe snaga (Sdu);
- sposobnost otpornosti i zaštite snaga (Soz);
- sposobnost održivosti snaga (Sod); i
- sposobnost pravovremene raspoloživosti snaga (Spr). (Generalštab Vojske Srbije, 2007)

Navedene elemente operativnih sposobnosti potrebno je pojedinačno analizirati, definisati precizno sadržaj pojma i postupak kvantifikacije, za različite borbene sisteme, rodovske i združene jedinice. Na bazi

integrisanja pojedinačnih sposobnosti, definisanja njihovog značaja i uticaja na ukupne borbene mogućnosti, moguće je doći do postupka koji omogućava objektivnije utvrđivanje stanja jedinica i mogućnosti izvršavanja zadataka u konkretnim ili pretpostavljenim uslovima.

Pojedinačne sposobnosti u različitoj meri utiču na ukupne operativne sposobnosti vojske ili njenih jedinica, kao i na elemente borbenih mogućnosti. Ukupne operativne sposobnosti ne predstavljaju prosti zbir elemenata sposobnosti, niti im je ista značaj. Zato je opravdano u postupku kvantifikacije odrediti koeficijente značajnosti . Postupak utvrđivanja vrednosti i određivanja međuzavisnosti elemenata operativnih sposobnosti jeste izazov za poznavaoce struke, ali i za one koji su dobri poznavaoci metoda operacionih istraživanja, matematičkog modelovanja i metoda višekriterijumske optimizacije. Tu je neophodna pomoć našoj praksi, kako se ne bi preuzimali pojednostavljeni modeli koji ne daju realnu sliku stanja resursa i efikasnosti njihove upotrebe u konkretnim borbenim uslovima. Određivanje ili proračun operativnih sposobnosti i borbenih mogućnosti jedinica vojske jeste preduslov efikasnog planiranja razvoja, realizovanja priprema i upotrebe vojnoorganizacionih sistema na svim nivoima komandovanja.

3. KVANTIFIKACIJA PARAMETARA BORBENIH MOGUĆNOSTI

Parametri koji su dovoljno teorijski saznati, čiji su priroda, obim sadržaj i dinamika uticaja na borbene mogućnosti u potpunosti definisani mogu se matematički opisati, a samim tim i uspešno kvantifikovati. Parametri koji nisu teorijski saznati, kao ni njihova priroda međuzavisnosti sa drugim parametrima, ne mogu se na zadovoljavajući način kvantifikovati. Njih je potrebno ekspertski ceniti od strane specijalista (eksperata) koji imaju vrhunska znanja o delatnosti u kojoj se taj parametar manifestuje. U postupku kvantifikovanja parametara mogu se koristiti različiti matematički modeli, softveri i nomogrami.

Kada se kvantifikuju parametri ili im se ekspertski odredi vrednost, takođe je potrebno ekspertskim ocenama odrediti koeficijente njihove značajnosti, jer je sasvim izvesno da je pojedinačan uticaj parametara na ukupne borbene mogućnosti različit. Dobar poznavalac određenog borbenog sistema i fizionomije savremene oružane borbe treba da učestvuje u rešavanju tog problema.

Kvantifikovanjem parametara i određivanjem njihove značajnosti stvaraju se pretpostavke za primenu postojećih ili izgradnju novih softverskih paketa, za određivanje borbenih mogućnosti. *Pri identifikovanju parametara borbenih mogućnosti neophodno je imati u vidu istorijski potvrđenu zakonomernost ili pravilnost, da je efikasnost bilo kog borbenog sistema direktno proporcionalna efikasnosti realizovanja osnovne funkcije (vatre), efikasnosti upravljanja i efikasnosti zaštite (otpornosti) u oružanoj borbi.*

Borbene mogućnosti su direktno proporcionalne operativnim sposobnostima (OpSp) i veličini koeficijenta borbenih uslova. Borbeni uslovi se često definišu u literaturi kao borbeni prostor, operacijsko okruženje ili strategijsko okruženje, što se i može videti na slici 1.

$$Bm = OpSp \cdot Kbu \tag{1}$$

Koeficijent borbenih uslova (Kbu) može se predstaviti opštim matematičkim izrazom,

$$Kbu = Kvlj \cdot Kvd \cdot Kpd \cdot Kbp \cdot Knhb... \tag{2}$$

gde je:

- **Kvlj** - koeficijent vrednosti ljudstva, zapravo je koeficijent koji treba da uračuna niz kvalitativnih svojstava: moral, obučenost, borbeno iskustvo i slično;
- **Kvd** - koeficijent vida dejstva (odbrana, napad, frontalni ili gerilski način izvođenja dejstava);
- **Kpd** - koeficijent protivdejstva neprijatelja;
- **Kbp** - koeficijent borbene podrške;
- **Knhb** - koeficijent NHB uslova.

Sve vrednosti koeficijenata razmatraju se u rasponu (0-1), pri čemu je vrednost bilo kog koeficijenta različita od nule. Ovo je samo matematički okvir za analitički pristup problemu određivanja borbenih mogućnosti, koji je poželjno razvijati u pravcu primene softvera za pojedine metode višekriterijumske optimizacije (VKO). Razvijanjem modela može se doći i do nomograma koji su operativno primenjivi. Kada se odrede borbene mogućnosti rodovskih sredstava i jedinica, može se pristupiti određivanju borbenih mogućnosti združenih jedinica, na različitim nivoima komandovanja. (Petrić, 1976)

Dobijanje relativno pouzdanog postupka za određivanje borbenih mogućnosti, veoma je značajno za svaku modernu vojsku iz više razloga, kao što su: (1) planiranje razvoja; (2) organizacione promene; (3) izračunavanje odnosa snaga i određivanje načina angažovanja; (4) proizvodnja ili nabavka novih borbenih sistema i opreme; (5) definisanje operativno-taktičkih zahteva taktičkih nosilaca i slično.

Celina je skoro uvek manja od proste sume delova, pa je zbog toga neophodno napustati dosadašnji pristup koji je počivao na sabiranju borbenih mogućnosti pojedinačnih oruđa i oružja u oružanoj borbi. Totalitet organizacije (jedinica na bilo kom nivou organizovanja) suštinski određuje prirodu i karakter borbenih mogućnosti pojedinih vrsta oruđa i oružja. Pri određivanju borbenih mogućnosti veoma je bitno uočiti da one nisu statična, nego izrazito promenljiva vrednost u funkciji niza činilaca koji ih determinišu.

Da bi se definisale polazne osnove za izradu postupka određivanja borbenih mogućnosti jedinica, neophodno je identifikovati osnovne probleme koji se pojavljuju u tom procesu. Identifikovanje problema zasnovano je na poznavanju istorije i savremene teorije vojnih nauka i naučnih disciplina, raspolaganju sa opitnim i iskustvenim pokazateljima efikasnosti pojedinih vrsta oružja, oruđa i vojne opreme, kao i na savremenim saznanjima o fizionomiji oružanih sukoba.

Pristupi pri određivanju borbenih mogućnosti jedinica, koji polaze od efikasnosti realizovanja namenske funkcije u oružanoj borbi, imaju znatan broj zajedničkih elemenata, ali je prisutan i veliki nivo specifične razlike u procedurama, a samim tim i u dobijenim rezultatima. Odabrani termin „postupak“ sugeriše na činjenicu da su danas u svetu u primeni različite procedure, koje nisu dovoljno teorijski zasnovane i uopštene, niti su u univerzalnom smislu, prošle proces naučne verifikacije.

Prema osnovnim obeležjima, pristupi (postupak, način, metod, metodologija) određivanja borbenih mogućnosti mogu se svrstati u sledeće grupe:

- pristupi zasnovani na proceni - subjektivni pristupi;
- ekspertski pristupi;
- pristupi zasnovani na stepenu iskorišćenosti taktičko tehničkih mogućnosti oružja i opreme;
- pristupi zasnovani na parametarskoj proceni i matematičkom modelovanju; i
- pristupi zasnovani na simulaciji procesa oružanih sukoba.

Pristupi zasnovani na subjektivnoj i timskoj proceni najduže su se zadržali u vojnoj organizaciji, tako da su i danas aktuelni, u mnogim vojskama sveta. Primenjuju se u situacijama kada nisu jasno definisani parametri borbenog sistema i kada se ne raspolaže sa kvantitativnim pokazateljima o uticaju činilaca na borbene mogućnosti. Suština procene svodi se na određivanje borbenih mogućnosti naoružanja i vojne opreme (NVO) i jedinica na osnovu poznavanja stanja i predviđanja njihove efikasnosti u virtuelnom ili realnom oružanom sukobu.

Ekspertski pristupi polaze od sadržaja i obima pojmova, te od cilja i zadatka angažovanja jedinice u oružanoj borbi. Postupak određivanja borbenih mogućnosti treba da bazira na visokospecijalističkom znanju o konkretnom borbenom sistemu i njegovim mogućnostima u datim uslovima izvođenja borbenih dejstva. Ekspertski pristup ukazuje na potrebu unapređenja teorijske osnove i ekspertskog ocenjivanja vrednosti pojedinih parametara borbenih mogućnosti jedinica, na bilo kom nivou organizovanja.

Pristupi zasnovani na stepenu iskorišćenosti taktičko tehničkih mogućnosti oružja i opreme polaze od stanovišta da su te mogućnosti izračunate za tablične, etalon uslove, koji se umanjuju pod delovanjem činilaca borbenih uslova ili borbene situacije. Način definisanja i izbor činilaca koji umanjuju taktičko tehničke mogućnosti je različit, tako da se po tom osnovu izdvajaju drugačiji nacionalni pristupi.

Pristupi zasnovani na parametarskoj proceni i matematičkom modelovanju realizuju se kroz izbor reprezentativnih parametara, iz činilaca, koji sa zadovoljavajućom pouzdanošću mogu da iskažu bitna svojstva i borbene mogućnosti NVO i jedinica u oružanoj borbi. Sastavni deo parametarske procene je izrada novih ili primena i dogradnja postojećih matematičkih modela. Matematički modeli definišu se u skladu sa karakterom parametara borbenog sistema i sa varijablama karakterističnim za proces oružanog sukobljavanja. *Veličina kojom se izražava vrednost varijable treba da bude u neposrednoj korelaciji sa ciljem funkcionisanja borbenog sistema, odnosno da se preko nje može iskazati neposredan uticaj na efikasnost dejstva u oružanoj borbi.* Nedostatak parametarskog pristupa često se ogleda u nedovoljnom poznavanju i neuzimanju u obzir svih ključnih parametara, a samim tim i rezultati dobijeni na taj način nemaju visok nivo pouzdanosti.

Pristupi zasnovani na simulaciji procesa sukoba, relativno su noviji i savremeniji. Smatra se da pored operativne i istraživačke, ti pristupi imaju i komercijalnu funkciju. Primenom simulacija dobijaju se dobri rezultati, naročito pri rešavanju različitih problema konstrukcije, opitovanja i proizvodnje NVO i pri određivanju njihove efikasnosti. Primenjivost ovog pristupa, u operativnoj praksi, nije toliko uspešna, koliko je uspešna u istraživačkom i edukativnom procesu, projektovanju i proizvodnji NVO. Broj varijabli koje se uzimaju u obzir u procesu simulacije, znatno je manji nego u stvarnosti i znatno ih je teško simulirati po značajnosti i intenzitetu uticaja na efekte, koji su rezultat funkcionisanja borbenog sistema.

4. ZAKLJUČAK

Zbog nastalih promena u fizionomiji savremenih ratova i oružanih sukoba, kao i zbog potreba savremene prakse i nedovoljno precizno utvrđenih termina prilikom prevođenja toka i ishoda oružanih sukoba nastaju izvesne nedoumice o sadržaju i obimu pojmova operativne sposobnosti i borbene mogućnosti. Inoviranje postupka određivanja stanja resursa, kroz određivanje operativnih sposobnosti, kao i borbenih mogućnosti jeste u centru pažnje komandi, naučnoistrašivačkih ustanova i vojnog školstva u savremenim vojskama.

Kvantifikacijom borbenih mogućnosti može se doprineti optimizaciji odluka strategijskog menadžmenta o razvoju ili upotrebi oružanih snaga. Proces kvantifikacije ne sme da bude uprošćen i da protivreči suštini fizionomije oružanih sukoba. U tom složenom multidisciplinarnom projektu mesta ima za poznavaoce struke i za poznavaoce metoda matematičkog modelovanja, metoda operacionih istraživanja, prvenstveno u delu kvantifikacije elemenata borbenih mogućnosti, kao i činilaca koji ih određuju. Integrisanim naporom, problem se može sagledati u celini i definisati dovoljno objektivan i prihvatljiv postupak kvantifikacije operativnih sposobnosti i borbenih mogućnosti, kao i njihov međusobni odnos.

LITERATURA

[1] Kovač, M., Dulanović, Ž., & Stojković, D. (2007). Određivanje efikasnosti vojnoorganizacionih sistema. Beograd: VIZ.

[2] Petrić, J. (1976). Operaciona istraživanja u vojsci. Beograd: Savremena administracija.

[3] Generalštab Vojske Srbije. (2007). Uputstvo za ocenjivanje i izveštavanje o stanju operativnih i funkcionalnih sposobnosti Vojske Srbije (privremeno). Beograd: Medija centar „Odbrana“.

[4] Preuzeto sa: www.dtic.mil/cjcs_directives/cdata/unlimit/3170_01.pdf

2017

PRIMENE OI U RUDARSTVU, GEOLOGIJI I ENERGETICI

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

EKONOMSKI EFEKTI REGIONALNE INTEGRACIJE TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

ECONOMIC EFFECTS OF REGIONAL INTEGRATION OF ELECTRICITY MARKET

SANDRA JEDNAK[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, sjednak@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Reforme u elektroenergetskom sektoru su neophodne da bi se stvorilo jedinstveno tržište, poboljšala sigurnost sanbdevanja i stabilnost elekroenergetskog sistema. Cilj rada je da se sagledaju efekti reformi u elektroenergetskom sektoru i integracije tržišta električne energije u različitim regionima. Efekti su različiti u zavisnosti od posmatranog regiona. EU regionalno tržište je doprinelo: većoj konkruenciji u proizvodnji i veleprodaji, smanjenju veleprodajne cene električne energije, većem izboru snabdevača za potrošače, izgrađenoj ili u izgradnji infrastrukture, povećanoj prekograničnoj trgovini, i uspostavljenju pravila i regualitve. Nasuprot tome, zemlje Zapadnog Balkana su postigli liberalizaciju tržišta, ali ona nije dovela još uvek do značajnih rezultata.*

Ključne reči: *tržište električne energije, reforme, regionalna integracija, EU, Zapadni Balkan*

Abstract: *Reforms in the power sector are needed to create a single market and improve the security of supply and the stability of the power system. The aim of this paper is overview of the effects of reforms in the electricity sector and integration of electricity market in different regions. The effects are different depending on the observed region. The EU's regional market has contributed to: greater competition in manufacturing and wholesale, reduced wholesale electricity prices, greater choice of suppliers for consumers, built or upgraded infrastructure, increased cross-border trade, and established rules and regimes. The Western Balkans has reached the market liberalization but it has not yet led to significant results.*

Keywords: *Electricity market, reforms, regional integration, EU, Western Balkans*

1. UVOD

Integracije u različitim domenima je pokazala svoje pozitivne efekte. Jedna od integracija je i u okviru energetike. Evropska energetska politika je usmerena na ostvarivanje integrisanog tržišta koje bi ostvarilo postavljene ciljeve uz niže troškove. Glavni ciljevi enegetske politike je da je energija pristupačna po konkurentskoj ceni koja je ostvarena na otvorenom tržištu, ekološki održiva i dostupna svima (Evropska komisija, 2014). Slični prioriteti su uspostvljeni za zemlje Zapadnog Balkana. Harmonizuja pravila i propisa energetskog sektora sa zahtevima Evropske unije je započeto potpisivanjem tzv. Atinskog Memoranduma, odnosno, Memoranduma o kreiranju regionalnog tržišta električne energije u Jugoistočnoj Evropi, kao i potpisivanjem Ugovora o energetskoj zajednici, čime je osnovana Energetska zajednica Jugoistočne Evrope (*ESCSEE*). Razvoj energetskog sektora i uravnoteženje energetskog bilansa za zemlje ovog regiona je značajan za dalji razvoj regiona i priključivanja Evropskoj uniji. Osnovni ciljevi Energetske zajednice su: upostavljanje integrisanog i održivog pan-evropskog tržišta energije, odnosno, uspostavljanje stabilnog regulatornog i tržišnog okvira u cilju privlačenja investicija, stvaranje jedinstvenog energetskog tržišta, sigurno snabdevanje, zaštita životne sredine, povećanje energetske efikasnosti, upotreba obnovljivih izvora energija i razvoj konkurencije (Energy community, 2017). Dalje uspostavljanje integracije tržišta električne energije zemalja Zapadnog Balkana regulisana je popisivanjem Memoranduma o razumevanju o razvoju regionalnog tržišta električne energije šest zemalja Zapadnog Balkana (WB6) (2016). Ovim memoradumom definisani su ciljevi za stvaranje jedinstvenog regionalnog tržišta električne energije, a to su: integracija tržišta energije, regionalan ravnoteža i raspodela kapaciteta (Balkan green energy news, 2017). Integracija ovog regiona je u domenu stvaranja jedinstvenog tržišta električne energije radi poboljšanja sigurnosti snabdevanja i stabilnosti energetskog sistema. Do jula 2018.godine je neophodno da se spoji ovo regionalno tržište sa jednom od susednih zemalja ili sa zemljom članicom EU (Balkan green energy news, 2017). Stvaranje regionalne prekogranične infrastrukture i jedinstveno integrisano tržište radi energetske sigurnosti i

upravljanja proizvodnjom i prenosnim kapacitetima finansirana EU iz IPA fondova kroz Okvir za investicije u zemlje Zapadnog Balkana (WBIF). Za ostvarivanje ovih ciljeva neophodna je saradnja država članica EU, kao i saradnja između ministarstva, operatora prenosnih sistema, nacionalnih regulativnih agencija i berzi energije zemalja članica.

Cilj rada je da pokaže efekte regionalne integracije tržišta električne energije. U radu će biti dat pregled efekata ove integracije u pojedinim regionima sveta. Poseban osvrt regionalne integracije tržišta električne energije biće na zemljama Zapadnog Balkana.

2. EFEKTI REGIONALNE INTEGRACIJE TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Mnoga tržišta električne energije su bila nacionalna i nije bilo trgovine van granica zemlje. Tokom osamdesetih godina, započete su reforme u elektroenergetskom sektoru, i to: u Čileu (1982.god.), Velikoj Britaniji (1989.god.) i Norveškoj (1990.god.). U cilju liberalizacije i stvaranja jedinstvenog tržišta sprovode se ekonomske reforme koje zahtevaju implementaciju međusobono povezanih koraka: restrukturiranje, uvođenje konkurencije u proizvodnji na veliko i ponudi na malo, regulaciju prenosnih i distributivnih mreža, uspostavljnje nezavisnog regulatora i privatizaciju (Jasamb and Pollitt, 2005). Integracija tržišta može da unapredi efikasnost ponude električne energije, smanji troškove proizvodnje i cenu, poveća standard i kvalitet usluga jačanjem konkurencije, i da utiče na smanjivanje štetnih emisija i zagađivanje životne sredine (Wu, 2013). Povećanje konkurencije i konkurentnosti je povezano sa restrukturiranjem velikih kompanije i sa državom inicijativom za stvaranje takvog tržišta. Konkurencija se obezbeđuje većim brojem preduzeća i smanjivanjem barijera za ulazak na tržište. Povećanje tržišta je moguće stvaranjem regionalnih tržišta i nezavisnog sistemskog operatora (Pollitt, 2009). Veća integracija tržišta povećava dobiti od specijalizacije i razmene, smanjuje poremećaje u privredi kreiranjem tržišta električne energije, unapređuje ekonomske signale za potrošnju i investicije, smanjuje troškove stvarajući različite institucije, i smanjuje troškove održavanja (Pierce et al., 2007).

Postoje različiti modeli koji su primenjivani u reformi elektroenergetskog sektora. Rezultati sprovođenja reformi su različiti. Kao uspešne reforme smatraju se reforme u EU, SAD, Čileu, Novom Zelandu i Singapuru. U Čileu je izvršeno odvajanje vertikalnih i horizontalnih delatnosti, privatizacija i stvaranje spot elektroenergetskog tržišta. Na ovom tržištu je slobodna konkurencija u proizvodnji i distribuciji, dok je prenos regulisan (Wu, 2013). U SAD su urađene reforme kroz nekoliko faza, od uticaja na veleprodajni sektor do uticaja na tarifni sistem putem kombinacije izvora energije u proizvodnji električne energije. Reforme u Istočnoj Aziji odnose se na: liberalizaciju trgovine energijom, investicija i domaćih energetskih tržišta, razvoj regionalne infrastrukture i institucija, i reforme cena. Ovim se postiže snaga regionalnih ekonomija, smanjuje gep u razvijenosti između zemlja regiona, optimizuje korišćenje resursa i unapređuje sigurnost snabdevanja i zaštita životne sredine (Aalto,2014). Jedan od modela koji slede zemlje Zapadnog Balkana je model reforme elektroenergetskog sektora EU.

EU tržište električne energije je od regulisanog tržište postalo veoma konkurentno. Liberalizacija internog tržišta električne energije i gasa se odvijalo prema direktivama iz 1990., 2003. i 2009. godine. Po EU modelu potrebno je da se od monopolske vertikalno integrisane industrije ponude električne energije krene ka deregulaciji tržišta električne energije. Ovo tržište treba da ima sledeće karakteristike: da bude konkurento u proizvodnji i velikoprodaji, da ima slobodan ulaz novih kompanija u domenu proizvodnje, da se odvoje prenos i distribucija, da reguliše nediskriminacione mrežne tarife, da postoji konkurencija na tržištima finalne ponude, da je trgovina u međunarodnim okvirima regulsana, da je uspostavljen nezavisan regulator sektora i da je tržišta otvoreno za konkurenciju za sve potrošače, i da se promoviše proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora.

EU je postavila cilj stvaranja jedinstvenog Evropskog tržiša električne energije. Određena regionalna tržišta su bila u Nordijskim zemljama, i u Francuskoj, Belgiji i Holandiji gde se veleprodaja električnom energijom obavljala između više zemalja. Stvaranjem EU jedinstvenog tržišta električne energije određeni pozitivni efekti su ostvareni: veleprodajne cene električne energije su smanjene za jednu trećinu, potrošači su imali veći izbor pri izboru snabdevača električnom energijom, mnogi infrastrukturene veze između članica EU su izgrađene ili su u izgradnji, prekogranična trgovina gasa i električne energije između članica EU je povećana, EU pravila garantuju konkurenciju i fer trgovinu. Međutim, iako je EU tržište imalo velike promene i progres, još uvek nije u potpunosti ostvareno jedinstveno tržište i njegovo funcionisanje. Nedostatak investicija i tržišna koncentracija su problemi koji se pokušavaju ispraviti. Zato su postavljeni ciljevi: povećanje regionalne kooperacije u skladu sa EU zahtevima, ohrabrivranje tržišne standardizacije, razvoj društvenog sistema za borbu protiv energetskog siromaštva, povećanje investicija u infrastrukturu i njena harmonizacija, prisustvo državne intervencije u osiguravanju toka energije i povećanja regionalne kooperacije, potreba da potrošači postanu aktivniji igrači na tržištu, da maloprodajno i velikoprodajno tržište

bude bolje povezano da bi se smanjile veleprodajne cene, a time uticalo i na smanjenje maloprodajnih cena (European Commision, 2014)

3. TRANSFORMACIJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZEMALJA ZAPADNOG BALKANA

Tokom devedestih godina zemlje Jugoistočne Evrope su sprovodile proces tranzicije i ekonomskih reformi. Energetski sektor je bio je važan segment ovih zemalja. Promene su uslovile i transformaciju ovog sektora, odnosno, njegovo restrukturiranje, deregulaciju i liberalizaciju kao i privatizaciju pojedinih delova. Do početka sprovođenja ovih promena i procesa, električna energija nije bila tržišna kategorija. Sektor je bio pod kontrolom države i električna energija je bila prevashodno socijalna kategorija. Ove zemlje nisu imale kapacitete i adekvatnu infrastrukturu da proizvode dovoljne količine električne energije te je većina zemalja imala energetske deficite. Neadekvatna infrastruktura i kapaciteti su uslovili povećanje troškova proizvodnje električne energije, s jedne strane i smanjenje prihoda, s druge strane. Da bi se povećala proizvodnja i trgovina ovim vidom energije između zemlja bilo je neophodna saradnja i stvaranje jedinstvenog tržišta.

Reforme energetskog sektora i stvaranje jedinstvenog energetskog tržišta započeto je potpisivanjem Atinskog sporazuma i stvaranjem Energetske zajednice. Ugovorom Energetske zajedince trebalo je stvoriti zajednički zakonodavni i regulatorni okvir za energetska tržišta i trebalo je dozvoliti trgovinu energijom između potpisnica tog ugovora. Uspostvaljanje institucija, adekvatnije infrastrukture i energetskih politika je bilo neophodno za obezbeđivanje pouzdane, dostupne i održive energije. Pored toga, Evropska unija je zainteresovana u nedostatku ponude energije, a povećanju tražnje za energijom, da se trasnformišu energetski sektori, usklade sa regulativama EU i da se stvori jedinstveno tržište energija da bi imala osigurano snabdevanje energijom preko zemalja Zapadnog Balkana. EU i gotovo sve zemlje Zapadnog Balkana su uvoznici svih energija (nafte, gasa i električne energije). Međutim, postoje mogućnosti da pojedine zemlje prošire svoje kapacitete te je privlačenje investicija u ovaj sektor od velike važnosti. Ovo je od značaja za zemlje Zapadnog Balkana. Zemlje ovog regiona imaju značajan prirodni potencijal, odnosno, resurse: ugalj, lignit (Kosovo, Srbija i Bosna i Hercegovina) i hidro kapacitete (koji su nedovoljno iskorišćeni). Najveću proizvodnju električne energije ove zemlje ostvaraju u termoelektranama, a potom putem hidroelektrana.Većina zemalja pokušava da ostvari veću proizvodnju putem obnovljivih resursa, a neke zemlje, Rumunija i Bugarska, razvijaju i sprovode nuklearne programe.

Energetski potencijal zemalja Zapadnog Balkana

Za analizu reformi i integrisanja tržišta neophodno je sagledati energetski potencijal zemlje. Energetski potencijal zemlje meri se raspoloživošću resursa na osnovu kojih može da se proizvode primarna energija, a iz koje će proizvesti ostali vidovi energije. Primarna energija omogućava stvaranje energije koje će se transformisati u neku drugu energiju, na primer, električnu energiju. Tabela 1 pokazuje ukupnu ponudu primarne energije (TPES) prema raspoloživim podacima za EU-28 i zemljama Z. Balkana. Pored njih, prikazane su zemlje Jugoistočne Evrope (Bugarska, Rumunija i Hrvatska) koje su u EU, a koje su bitne za razvoj energetskog sektora regiona.

Tabela 1: Ukupna proizvodnja primarne energije i udeo pojednih energija u ukupnoj proizvodnji EU28 i zemlje Zapadnog Balkana, 2004. i 2014.god.

	Ukupna proizvodnja primarne energije (Mtoe)		Udeo u ukupnoj proizvdnji, 2014 (%)				
	2004	2014	Nuklearna energija	Čvrsta goriva	Prirodni gas	Sirova nafta	Energija iz obnovljivih izvora
EU-28	**931,7**	**770,7**	**29,3**	**19,4**	**15,2**	**9,1**	**25,4**
Bugarska	10,2	11,3	36,5	45,3	1,4	0,2	16,4
Rumunija	28,6	26,6	11,3	16,7	33,0	15,8	22,9
Hrvatska	4,7	4,4	0,0	0,0	33,2	13,9	52,7
Zapadni Balkan	**18,0**	**20.6**	**0,0**	**58,1**	**2,2**	**11,2**	**28,2**
Albanija	1,1	1,9	0,0	0,0	1,3	65,6	33,1
Crna Gora	0,0	0,7	0,0	52,6	0,0	0,0	47,5
Makedonija	1,6	1,3	0,0	78,0	0,0	0,0	22,0
Srbija	12	9,4	0,0	60,8	4,7	12,4	22,0
Bosna i Hercegovina	3,6	6,0	0,0	62,3	0,0	0,0	37,7
Kosovo	1,3	1,6	0,0	83,6	0,0	0,0	16,4

Izvor: Eurostat

Prema podacima iz Tabele 1 može se videti da postoje razlike u proizvodnji i udelu u ukupnoj proizvodnji između EU-28 i zemlja Z.Balkana. Iako EU-28 ima veću primarnu proizvodnju od zemalja Z.Balkana, ona ima smanjenu proizvodnju u 2014. godine u odnosu na 2004. godinu. Ovo se može objasniti neefikasnim korišćenjem ili nedovoljnim resursima potrebnim za primarnu proizvodnju. Najveći doprinos u ukupnoj

primarnoj proizvodnji u EU-28 imala je nuklearna energija, dok u zemljama Z.Balkana ona učestvuje sa 0%. Pored toga, različita je ukupna proizvodnja primarne energije između zemlja Z. Balkana. Udeo u ukupnoj proizvodnji za 2014. godini imaju čvrsta goriva (58,1%), potom energija iz obnoviljivih izvora (28,2%), a zatim sirova nafta (11,2%) i priodni gas (2,2%). Čvrsta goriva su primarni izvor energije u svim zemljama, osim Albanije. Sirova nafta i priodni gas najviše su prisutni u Albaniji i Srbiji. U periodu 2004 - 2014. godine u proizvodnji primarne energije postoji trend da se smanjuje učešće fosilnih goriva i nuklearne energije, a povećava učešće obnovljivih izvora. Obnovljivi izvori tokom ovog perioda imali su rast od 73 % (Eurostat, 2017). Nedovoljna primarna proizvodnja uticala je na povećanje uvoza čvrstih goriva, nafte i gasa iz Rusije i Norveške. Nadalje, tokom perioda 2004-2015. godine za posmatrane zemlje postoji stabilna rastuća tražnja za energijom. Pad tražnje započinje tokom ekonomske i finansijske krize i traje do 2014. god. kada počinje da raste. Pored ovog indikatora, bitan indikator je finalna potrošnja energije. Ovaj indikator pored toga što pokazuje potrošnju energije tj. tražnju jedne zemlje, pokazuje efekte upotrebe energije na životnu sredinu. Na osnovu ovog indikatora može se težiti smanjenju potrošnje ili njenoj efikasnijoj upotrebi. Ovo je povezano sa ciljevima startegije rasta Europa 2020 koji se odnose na energiju, a to su da treba smanjiti štetne gasove za 20%, povećati 20% energetsku efikasnost i 20% energije treba da bude obezbeđeno iz obnovljivih izvora energije. Na osnovu potrošnje mogu se zaključiti različite ekonomske relacije. Tabela 2 pokazuje bruto potrošnju energije po svim tipovima goriva i ukupnu finalnu potrošnju energije (TFC) u EU-28 i zemljama Z. Balkana.

Tabela 2. Bruto potrošnja energije po svim tipovima goriva i finalna tražnja energije za EU28 i Z.Balkan (1000 toe)

	Bruto potrošnja energije po svim tipovima goriva(1000 toe)			**Finalna potrošnja energije (1000 toe)**		
	2004	**2014**	**2015**	**2006**	**2014**	**2015**
EU28	**1,823,441.6**	**1,607,754.1**	**1,627,475.2**	**1,194,056.2**	**1,061,667.9**	**1,083,956.6**
Hrvatska	9,623.8	8,195.4	8,525.3	7,256.3	6,241.2	6,587.0
Bugarska	18,940.5	17,744.5	18,511.1	10,501.2	9,011.9	9,507.6
Rumunija	39,529.2	32,157.6	32,413.5	24,882.4	21,720.6	21,892.5
Zapadni Balkan	**28,209.5**	**29,332.7**	**24,995.1**	**16,579.9**	**18,085.8**	**16,336.9**
Crna Gora	0.0	974.7	1,029.7	782.0	646.8	681.9
Makedonija	2,713.7	2,707.3	2,697.6	1,757.1	1,809.7	1,881.6
Albanija	2,212.4	2,344.9	2,198.6	1731.8	2,066.8	1,965.5
Srbija	17,680.4	13,293.9	14,735.9	9,705.8	7,841.2	8,167.2
Bosna i Hercegovina	3,594.2	7,794.4	1,808.6	1,592.3	4,488.3	2,296.4
Kosovo	2,008.8	2,217.5	2,524.7	1,010.9	1,233.0	1,344.3

Izvor: Eurostat

Zemlje EU-28 su povećale potrošnju posle 2012.godine, što pokazuju i podaci iz 2014. i 2015. godine (Tabela 2), dok zemlje Z.Balkana imaju pad potrošnje u 2015.godini zbog velikog pada potrošnje energije u Bosni i Hercegovini. U okviru energetskog sektora elektroenergetski sektor zauzima značajno mesto. Elektroprivreda utiče na sam sektor, ali direktno ili indirektno i na druge sektore iz razloga što je električna energija prisutna i neophodna u gotovo svakoj industriji, preduzeću i domaćinstvu. Tabela 3 pokazuje ukupnu bruto proizvodnju i potrošnju električne energije za EU-28 i zemljama Z. Balkana. Indikator za potrošnju električne energije prema Eurostatu zove se Potrošnja electične energije u industriji, transportu i domaćinstvima.

Tabela 3. Ukupna proizvodnja i finalna potrošnja električne energije za EU28 i Z.Balkan

	Ukupna bruto proizvodnja elekritčne energije (GWh)			Potrošnja električne energije u industriji, transportu i domaćinstvima (GWh)		
	2004	2014	2015	2004	2014	2015
EU28	**3,302,815**	**3,190,773**	**3,234,341**	**2,745,727**	**2,702,623**	**2,740,779**
od toga						
Bugarska	41,621	47,485	49,228	24,906	27,674	28,326
Rumunija	56,499	65,676	66,296	38,775	41,905	43,030
Hrvatska	13,990	13,554	11,403	13,702	14,833	15,343
Zapadni Balkan	**66,769**	**68,927**	**74,590**	**49,908**	**57,281**	**57,483**
Albanija	0	3,173	3,003	5,325	6,523	5,897
Bosna i Hercegovina	6,667	5,374	5,646	7,394	10,587	10,584
Crna Gora	5,606	4,724	5,895	0	2,610	2,679
Kosovo	37,686	34,060	38,298	2,946	4,674	4,622
Makedonija	12,728	16,160	15,629	5,764	6,729	6,628
Srbija	4,082	5,436	6,119	28,479	26,158	27,073
Izvor: Eurostat						

Kada se posmatra proizvodnja i potrošnja električne energije, može se primeti da postoji rast i proizvodnje i potrošnje električne energije. Zemlje Z.Balkana imaju malu potrošnju u odnosu na EU-28. Ovo pokazuje da ove zemlje imaju i niži stepen ekonomskog razvoja. Obično je manja potrošnja energije povezana sa ekonomskom krizom ili nižim nivoom razvoja privrede. Pored toga, na potrošnju energije utiču i struktura energetskog sistema i resursi neophodni za primarnu proizvodnju energije.

Efekti reformi i kreiranja regionalnog tržišta električne energije

Karakterisike regiona Z. Balkana je da će se povećavati tražnja za električnom energijom te usled nedovoljne ponude tj. proizvodnje i starih postojećih kapaciteta poveća će se uvoz. Nedostatak investicija, mala energetska efikasnost, veliki gubici, niska cena električne energije i slaba naplata potraživanja povećavaju takođe tražnju za električnom energijom. Iz navednog potrebno je da se prate preporuke Energetske zajednice u vidu harmonizacije, standardizacije regulativa, koperacije i razmene iskustva i prakse za postizanje energetske efikasnosti. Zemlje Z. Balkana treba da pokušaju da ispune postavljene ciljeve Energetske zajedinice i stvaranje jedinstvenog integrisanog tržišta. Pored toga, dalje uspostavljanje integracije tržišta električne energije zemalja Z. Balkana regulisano je potpisivanjem Memoranduma o razumevanju o razvoju regionalnog tržišta električne energije šest zemalja Zapadnog Balkana (WB6) (2016).

Pojedinačna tržišta zemalja Z.Balkana su mala i zemlje ovog region su energetski intezivne. Cene električne energije su ispod ekonomskog nivoa. a cenovni i trafini sistem su neodgovarajući (Karova, 2011). Elektroenergetski sektor je bio prirodan veritkalno integrisan monopol, sa ekonomijom obima i regulisanom cenom. Transformacija, odnosno, restrukturiranje ovog sektor je sprovedena, da bi se liberalizovalo i otvorilo tržište električne energije i dovelo do jedinstveno tržišta električne energije. Cilj reformi i uvođenje novih tehnologija je povećanje proizvodnje i ponude koja zadovoljava potrošnju i tražnju. Na Z. Balkanu je urađeno restrukturiranje elektroenergetskog sektora, započeta je liberalizacija tržišta electične energije koje je trebala da bude jedan od preduslova za stvaranje jedinstvenog tržišta. Liberalizacija tržišta treba da dovede do veće konkurencije i smanjivanja cene električne energije. Međutim, iako su pojedine zemlje Z.Balkana liberalizovale tržište, smanjenje cene električne energije nije ostvareno.

Tržišna cena se utvrđuje na berzama, odnosom ponude i tražnje, i na osnovu libralizacije proizvodnje i snabdevanja. Konkurencija tj. liberalizacija je uvedena u procese proizvodnje i snabdevanja, dok su prenos, distribucija i sistemske operacije ostale regulisane. Ekonomska regulacija je prisutna da bi se rešila imperfektnost tržišta električne energije. Ona treba da podstiče efikasnost, upostavlja finansijsku održivost i sprečava diskriminaciju u smislu kontrole: cene, kvaliteta snabdevanja i tržišta električne energije (Filipovic i Tanic, 2010). Konkurencija nije velika ili je gotovo zanemarljiva jer postoji i dalje dominantna preduzeća koja nude nisku cenu električne energije. Iako je otvoreno tržište i dalje potrošači nabavljaju od dominantih velikih preduzeća. Da bi se liberalizacije ostvarila i privukla investitore, izvršene su promene i usvajanja zakona o električnoj energiji i reforme samog sektora. Privlačenje investicija je moguće ako se izvrši restrutkuriranje elektroprivrednog sektora tj. preduzeća (vertikalno i horizontalno razdvajanje delatnosti, kao i odvajanje osnovnih od pomoćnih delantosti), a potom privatizacija putem prodaje kontrolnog paketa akcija ili putem strateškog partnerstva u izgradnji novih kapaciteta. Na ovaj način, privukao bi se kapital i investicije koje su neophodne u elektroenergetskom sektoru regiona.

Koristi formiranja regionalnog tržišta električne energiju za ovaj region su: pouzdani izvori energije koji će imati ulogu u ustvarivanju ekonomskog razvoja, privlačnje stranog kapitala zbog većeg tržišta i boljeg korišćenja postojećih kapaciteta, olakšana prekogranična trgovina, usvajanje EU standarda za razvoj infrastrutkure i regulaciju, tehnički uslovi koji omogućavaju diversifikaciju goriva koja je nemoguća u malim

sistemima, povećanje viškova i rezervi, izgradnja infrastrukture i novih kapaciteta koji su međusobno povezani. Regionalno tržište obezbeđuje trgovinu između zemalja regiona. Bosna i Herzegovina i Bugarska su izvoznici, dok su ostale zemlje ovog regiona uvoznici. Regionalno tržište bi tebalo da dovede do manje zavisnosti od uvoza. Iako postoje koristi i prednosti od regionalnog tržišta, rezultati u ostvarivanju postavljenih ciljeva su ograničeni.

4. ZAKLJUČAK

U svetu postoji stalni rast tražnje za električnom energijom, s jedne strane, a manja ponuda, s druge strane. Da bi se obezbedila veća ponuda, a pri tome zaštitila životna sredina, neophodan uslov je sprovođenje strukturnih refomi u elektroenergetskom sektoru i stvaranje jedinstvenog tržišta. Postoji različiti modeli sprovođenja reformi u elektroenergetskom sektoru. Međutim, kao osnovni koraci se izdvajaju: restrukturiranje, organizacija tržišta, regulacija i privatizacija. Efekti sprovođenja reformi u ovom sektoru i stvaranje jedinstvenog tržišta električne energije su: smanjivanje troškova proizvodnje i cene električne energije, obezbeđivanje sigurnog snabdevanja i trgovine van nacionalnih granica, veće investicije u infrastrukturu i proizvodne kapacitete. EU je sprovela ove reforme postigla određene rezultate, ali i dalje ima prostora za bolje efekte. Zemlje Zapadnog Balkana su u harmonizaciji sa EU i sprovode reforme na osnovu EU modela. Međutim, ove zemlje nisu ostvarile značajnije rezultate. Pojedine zemlje ovog regiona su uradile restrukturiranje velikih kompanija i liberalizovale tržište. Ipak, nije došlo do povećanja konkurencije i smanjivanja cene električne energije, jer je cena koju nudi velika kompanije niska. Sprovođenje reformi će se nastaviti jer se mogu privući investitori, a transformisan sektor može uticati na ekonomski razvoj ovog regiona.

LITERATURA

[1] Aalto, P. (2014). Energy market integration and regional institutions in east Asia. *Energy Policy*, *74*, 91-100.

[2] Balkan green energy news (2017). Tri nove propisnice pridružile su se WB6 inicijativi za integraciju tržišta energije. Retrieved from http://balkangreenenergynews.com/rs/tri-nove-potpisnice-pridruzile-se-wb6-inicijativi-za-integraciju-trzista-energije/

[3] Balkan green energy news (2017). CROPEX se pridružio inicijativi za integraciju tržišta električne energije Zapadnog Balkana. Retrieved from http://balkangreenenergynews.com/rs/cropex-se-pridruzio-inicijativi-za-integraciju-trzista-elektricne-energije-zapadnog-balkana/

[4] EARS (2017). https://www.aers.rs/Index.asp?l=1&a=45&tp=TEEZ

[5] Energy Community (2017). Retrieved from https://www.energy-community.org/aboutus/whoweare.html

[6] European Commision (2014). Single market progress report. Retrived from https://ec.europa.eu/energy/en/topics/markets-and-consumers/single-market-progress-report

[7] Eurostat (2017). Eurostat statistics main tables for energy

[8] Evropska komisija. (2014). Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions. Progress towards completing the Internal Energy Market. Retrieved from http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0634&from=HR

[9] Filipovic S., and Tanic. G. (2010). Izazovi na tržištu električne energije. Ekonomski institut.

[10] Jamasb, T., & Pollitt, M. (2005). Electricity market reform in the European Union: review of progress toward liberalization & integration. *The Energy Journal*, 11-41.

[11] Karova, R. (2011). Regional electricity markets in Europe: Focus on the Energy Community. *Utilities Policy*, *19*(2), 80-86.

[12] Pierce, R., Trebilcock, M., & Thomas, E. (2007). Regional Electricity Market Integration a Comparative Perspective. *Competition and Regulation in Network Industries*, *8*(2), 215-257.

[13] Pollitt, M. (2009). Evaluating the evidence on electricity reform: Lessons for the South East Europe (SEE) market. *Utilities Policy*, *17*(1), 13-23.

[14] Tanjug. (2016). EU daje 12 mln evra za energetski koridor na Balkanu.

[15] Wu, Y. (2013). Electricity market integration: global trends and implications for the EAS region. *Energy Strategy Reviews*, *2*(2), 138-145.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PODEŠAVANJE I KOORDINACIJA PREKOSTRUJNIH RELEJA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

SETTING AND COORDINATION OF OVERCURRENT RELAYS IN THE DISTRIBUTION NETWORK

JELISAVETA KRSTIVOJEVIĆ[1], DARKO ŠOŠIĆ[2], ALEKSANDAR SAVIĆ[3]

[1] Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, j.krstivojevic@etf.rs
[2] Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, sosic@etf.rs
[3] Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, savic@etf.rs

Rezime: *Prekostrujni releji su jedan od glavnih vidova zaštite u distributivnoj mreži. U ovom radu je izvršeno podešavanje i koordinacija prekostrujnih releja sa inverznom karakteristikom reagovanja primenom metode diferencijalne evolucije. Rešavanje problema koordinacije obuhvata veliki broj ograničenja koja istovremeno moraju biti zadovoljena. Problem koordinacije je rešen na dva načina, minimizacijom sume vremena reagovanja: (i) svih primarnih releja za kvarove na početku voda i (ii) svih primarnih releja za kvarove na početku i na kraju voda. Dobijeni rezultati su prikazani i upoređeni u radu.*

Ključne reči: *relejna zaštita, prekostrujni relej, koordinacija releja, optimizacija, diferencijalna evolucija.*

Abstract: *Overcurrent relays are one of the main types of protection in the distribution network. In this paper, the setting and coordination of overcurrent relays with the inverse time characteristics was performed by using the differential evolution method. Solving the coordination problem involves a large number of constraints that must be met at the same time. The coordination problem is solved in two ways by minimizing the total operating time of: (i) all primary relays for failures at the beginning of the line, and (ii) all primary relays for failures at the beginning and failures at the end of the line. The obtained results are presented and compared in this paper.*

Keywords: *power system protection, overcurrent relay, relay coordination, optimization, differential evolution.*

1. UVOD

Za pouzdan rad elektroenergetskog sistema (EES-a), neophodno je brzo detektovati i izolovati element sa kvarom od ostatka EES-a. Ovaj zadatak obavlja sistem relejne zaštite koji treba da bude selektivan, brz, osetljiv i pouzdan [1]. Prekostrujni releji su jedan od glavnih vidova zaštite u distributivnoj mreži. Podešavanje karakteristike reagovanja prekostrujnog releja se zasniva na poznavanju vrednosti maksimalne radne struje, minimalne struje kratkog spoja i maksimalne struje kratkog spoja koje vidi relej.

Određivanje optimalnog podešenja prekostrujnih releja može se ostvariti primenom različitih metoda i tehnika. Neke od njih su linearna optimizacija koja se bazira na linearnom programiranju i simpleks metoda [2,3], zatim genetički algoritmi i njihove varijante [4], kao i diferencijalna evoluciona metoda [5,6]. U ovom radu je primenom diferencijalne evolucije izvršena koordinacija i izbor optimalnih podešenja prekostrujnih releja u distributivnoj mreži.

Problem koordinacije prekostrujnih releja sa inverznom karakteristikom reagovanja je izrazito nelinearan i obuhvata veliki broj ograničenja koja istovremeno moraju biti zadovoljena [6]. Optimizacioni problem koordinacije je rešen primenom metode diferencijalne evolucije. Podešenja karakteristike reagovanja prekostrujnog releja su usvojena kao upravljačke promenljive koja mogu da se kontinualno menjaju u određenim opsezima. Takođe, od tri tipa IEC karakteristika reagovanja za svaki relej je izvršen izbor jedne optimalne karakteristike reagovanja. Tip karakteristike reagovanja je u problemu optimizacije posmatran kao celobrojna upravljačka promenljiva.

Bez obzira na to koja optimizaciona metoda će biti primenjena, u literaturi se susreću dva pristupa rešavanju problema koordinacije prekostrujnih releja sa inverznom karakteristikom reagovanja. U prvom se objektivna funkcija definiše kao suma vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku voda

i u daljem rešavanju problema uslovi koordinacije se definišu samo na osnovu kvarova na počecima vodova. U drugom pristupu objektivna funkcija definiše kao suma vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku i kraju voda, a uslovi koordinacije između dva susedna releja se definišu u odnosu na kvarove na počecima i krajevima vodova. Cilj ovog rada je da na primeru jedne distributivne radijalne mreže primeni oba navedena pristupa prilikom rešavanja problema koordinacije prekostrujnih releja i da dobijene rezultate uporedi.

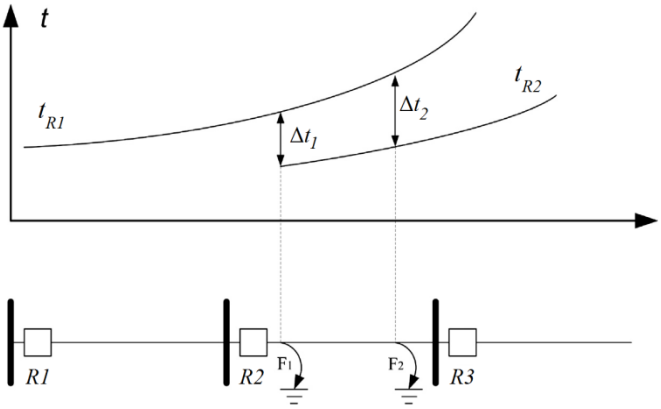
2. PODEŠAVANJE PREKOSTRUJNIH RELEJA SA INVERZNOM KARAKTERISTIKOM

Karakteristike faznih prekostrujnih releja sa inverznim karakteristikama reagovanja biraju se u skladu sa željenom brzinom reagovanja za određene kvarove [1]. Da bi bila zadovoljena selektivnost mora postojati vremenska razlika reagovanja (Δt) između dva susedna releja u radijalnoj mreži. Vremenska razlika reagovanja mora se obezbediti u celom opsegu preklapanja karakteristika susednih releja (slika 1).

Vreme reagovanja releja sa inverznom karakteristikom je:

$$t_{i,k} = TDS_i \cdot \left[\frac{\alpha}{\left(\frac{I_{pks}}{N_{STi} \cdot PS_i \cdot I_{ST}} \right)^{\beta} - 1} + \gamma \right] \tag{1}$$

gde su: TDS_i vremenska konstanta releja i, PS_i umnožak podešene struja releja i, α, β i γ konstante koje zavise od odabranog tipa karakteristike releja, I_{pks} struja kvara na primarnoj strani strujnog transformatora (ST), I_{ST} naznačena struja releja svedena na sekundarnu stranu ST-a i N_{STi} prenosni odnos i-tog strujnog transformatora. U tabeli 1 prikazane su konstante (α, β i γ) za različite tipove IEC karakteristika prekostrujnih releja.



Slika 1: Princip podešavanja prekostrujnih releja sa inverznom karakteristikom

Tabela 1: Tipovi IEC karakteristika prekostrujnih releja.

Broj karakteristike	Tip karakteristike	α	β	γ
1	IEC Normalna	0.14	0.02	0
2	IEC Veoma inverzna	13.5	1	0
3	IEC Ekstremnno inverzna	80	2	0

3. KOORDINACIJA PREKOSTRUJNIH RELEJA

Da bi selektivnost bila zadovoljena, potrebno je da relej koji je najbliži kvaru reaguje brže od ostalih releja. Svaki primarni relej ima rezervni (*back-up*) relej koji treba da reaguje nakon određenog vremenskog intervala (Δt). Vreme kašnjenja (Δt) mora biti jednako ili duže od vremenskog intervala koordinacije (*CTI-coordination time interval*). Vremenski interval koordinacije (*CTI*) osigurava da primarni relej reaguje brže od rezervnog releja.

Objektivna funkcija

Cilj primene optimizacije u rešavanju problema koordinacije releja je da se dobiju podešenja prekostrujnih releja: vremenska konstanta (*TDS*), umnožak podešene struje (*PS*) i tip karakteristike releja tako da ukupno vreme reagovanja svih prekostrujnih releja u posmatranoj mreži bude minimalno.
U radu će biti upoređeni rezultati dobijeni primenom dve različite objektivne funkcije.

1. način: objektivna funkcija je formirana kao suma vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku voda (relacija (2)).

2. način: objektivna funkcija je formirana kao suma vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku i na kraju voda (relacija (3)).

$$\min_{TDS_i,\, PS_i} f_1 = \sum_{i=1}^{n} w_i \; t_{i,k1} \tag{2}$$

$$\min_{TDS_i,\, PS_i} f_2 = \sum_{i=1}^{n} w_i \; t_{i,k1} + \sum_{i=1}^{n} w_i \; t_{i,k2} \tag{3}$$

gde su: n - broj releja, w_i - težinski faktor koji zavisi od verovatnoće da će se kvar pojaviti u posmatranoj zaštitnoj zoni i obično se usvaja da je $w_i = 1$, $t_{i,k1}$ i $t_{i,k2}$ - vremena reagovanja primarnog releja i za kvarove unutar štićene zone na početku i na kraju voda, respektivno. Tokom rešavanja problema optimizacije vršen je izbor jedne od tri karakteristike reagovanja (*TKR*) releja koje su date u tabeli 1.

Uslovi i ograničenja

Minimizacija ukupnog vremena reagovanja releja je izvršena uz uvažavanje sledećih ograničenja:

1) Osnovni uslov koordinacije

Koordinacija primarnog i rezervnog releja mora da zadovoljiti sledeće ograničenje:

$$t_{j,k} - t_{i,k} \geq CTI \tag{4}$$

gde je $t_{i,k}$ vreme reagovanja primarnog releja i za kvar k unutar zone zaštite, $t_{j,k}$ je vreme reagovanja rezervnog releja za isti kvar, *CTI* predstavlja minimalnu zahtevanu vremensku razliku između reagovanja glavnog i rezervnog releja.

Tokom rešavanja problema optimizacije u slučaju primene **1. načina** uslov (4) je proveravan za kvarove na početku voda, a u slučaju **2. načina** za kvarove na početku i na kraju voda.

2) Ograničenja vremena reagovanja releja

$$t_{i,\min} \leq t_{i,k} \leq t_{i,\max} \tag{5}$$

gde su $t_{i,\min}$ i $t_{i,\max}$ minimalno i maksimalno vreme reagovanja releja na lokaciji i za svaki kvar unutar zone reagovanja.

3) Ograničenje vrednosti umnoška podešene struje releja (PS):

$$PS_{i,\min} \leq PS_i \leq PS_{i,\max} \tag{6}$$

gde su $PS_{i,\min}$ i $PS_{i,\max}$ minimalna i maksimalna vrednost umnoška podešene struje releja i.

U mrežama koje su analizirane u ovom radu naznačene struje svih releja svedene na sekundarnu stranu ST-a i sekundarne struje odgovarajućih ST-a iznose 1 A. Minimalna vrednost *PS* najčešće se podešava da bude jednaka ili veća 1.25 puta od maksimalne struje opterećenja. Na taj način se izbegava nepotrebno reagovanje releja tokom preopterećenja. Dok u cilju obezbeđivanja osetljivosti na male vrednosti struje kvara, kada je potrebno da relej reaguje, maksimalna vrednost *PS* se podešava da bude manja (ili jednaka) od 2/3 minimalne struje kvara. U ovom radu, vrednosti $PS_{i,\min}$ i $PS_{i,\max}$ određene su prema relaciji (7) [6].

$$\begin{aligned} PS_{i,\min} &= \max\left(I_{opt_i}^{\max}, I_{pod_i}^{\min}\right) \\ PS_{i,\max} &= \min\left(I_{ks_i}^{\min}, I_{pod_i}^{\max}\right) \end{aligned} \tag{7}$$

gde su: $I_{pod_i}^{\min}$ i $I_{pod_i}^{\max}$ minimalno i maksimalno dostupno podešenje na releju, odnosno $0.5 \cdot I_{ST}$ i $2.5 \cdot I_{ST}$, respektivno, $I_{opt_i}^{\max}$ je maksimalna struja opterećenja, a $I_{ks_i}^{\min}$ minimalna struja krstkog spoja.

4) Ograničenje vrednosti vremenske konstante TDS

$$TDS_{i\min} \leq TDS_i \leq TDS_{i\max} \tag{8}$$

gde su $TDS_{i\,\min}$ i $TDS_{i\,\max}$ minimalna i maksimalna vrednost vremenske konstante releja i.

4. DIFERENCIJALNA EVOLUCIJA

Diferencijalna evolucija pripada evolucionoj grupi meta-heurističkih metoda optimizacije. Prvu verziju ovog algoritma su predložili Price i Storm [7]. Pored rada sa realnim brojevima, diferencijalnu evoluciju je moguće modifikovati da radi sa promenljivim koje mogu da uzimaju samo celobrojne vrednosti. Osnovne operacije algoritma koji će biti izložen u nastavku teksta su: kreiranje početne populacije, mutacija, ukrštanje, procena i selekcija.

Početnu populaciju je potrebno rasporediti što ravnomernije po prostoru pretrage, pri čemu upravljačke promenljive moraju da se nalaze u svojim okvirima. Početna populacija se kreira upotrebom sledećeg izraza

$$x_{j,i,0} = b_{j,\mathrm{D}} + r \cdot \left(b_{j,\mathrm{G}} - b_{j,\mathrm{D}}\right) \tag{9}$$

gde je r proizvoljno odabrani broj na intervalu [0,1], $x_{j,i,0}$ predstavlja j-tu (j = 1, …, K) upravljačku promenljivu i-tog (i = 1, …, N_p) vektora početne populacije. Donja i gornja granica svake upravljačke promenljive se smešta u vektor $\mathbf{b_D}$ i $\mathbf{b_G}$, pri čemu $b_{j,\mathrm{D}}$ i $b_{j,\mathrm{G}}$ predstavljaju donje i gornje ograničenje j-te upravljačke promenljive. Ukupan broj upravljačkih promenljivih je označen sa K, dok je sa N_p označen ukupan broj članova populacije.

Mutiranje upravljačkih promenljivih se vrši upotrebom sledećeg izraza:

$$u_{j,i,t} = x_{j,r3,t} + F\left(x_{j,r1,t} - x_{j,r2,t}\right), \quad i = 1,\ldots,N_p,\ j = 1,\ldots,K \tag{10}$$

gde r_1, r_2 i r_3 uzimaju vrednosti iz skupa [1, ..., N_p] pri čemu mora biti ispunjen sledeći uslov $r_1 \neq r_2 \neq r_3$, a F je faktor skaliranja i može da uzima vrednosti iz opsega [0,1].

Kod diferencijalne evolucije operacija ukrštanja se izvodi pomoću ciljnog vektora, $\mathbf{x}_i$, i mutiranog vektora $\mathbf{u}_i$ upotrebom sledećeg izraza

$$v_{j,i,t} = \begin{cases} x_{j,i,t}, & \text{ako je } r > \mathrm{C}r, \\ u_{j,i,t}, & \text{u suprotnom,} \end{cases} \quad i = 1,\ldots,N,\ \ j = 1,..,K. \tag{11}$$

Gde je r proizvoljan broj iz opsega [0,1], a Cr predstavlja verovatnoću ukrštanja i može da mu se dodeliti bilo koja vrednost iz opsega [0,1].

Prilikom procene vrši se određivanje vrednosti kriterijumske funkcije svakog probnog vektora $\mathbf{v}_i$, nakon čega sledi „*knock-out*“ selekcija. Ovom selekcijom se porede ciljni vektor $\mathbf{x}_i$ i probni vektor $\mathbf{v}_i$ pri čemu dalje problazi onaj vektor koji ima bolju vrednost kriterijumske funkcije.

Opisani postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolji kriterijum konvergencije.

5. REZULTATI SIMULACIJE

Primenom predložene metode optimizacije izvršena je koordinacija prekostrujnih releja u jednostrano napajanoj radijalnoj 10 kV distributivnoj mreži sa šest čvorova (slika 2). Podaci o potrošnji u čvorovima 1-6 prikazani su u tabeli 2. Na slici 2 sa R1-R5 su označeni prekostrujni releji. U optimizacionom problemu usvojene granične vrednosti podešenja vremenske konstante (*TDS*), vremena reagovanja releja (t_i), vremenskog intervala koordinacije (*CTI*) i tipa karakteristike reagovanja (*TKR*) su date relacijom (12).

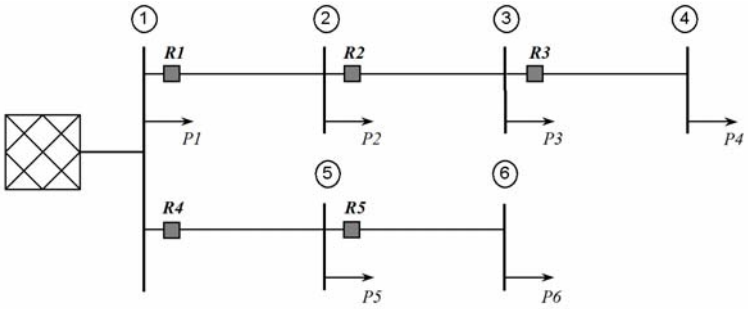
$$0.02 \le TDS_i \le 1.2\,, \quad 0.2s \le t_{i,k} \le 1.5s\,, \quad CTI \ge 0.2s\,, \quad 1 \le TKR \le 3 \tag{12}$$

Tabela 2: Snaga potrošnje u čvorovima 1-6

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P [MW]	5	2	2	2	2	3
Q [Mvar]	3	1	1	1	1	2

U tabeli 3 su prikazani prenosni odnosi odgovarajućih strujnih transformatora (N_{ST}), vrednosti maksimalnih struja opterećenja koje vide releji, odgovarajući parovi primarnih i rezervnih releja, kao i vrednosti struja trofaznog kratkog spoja na početku i na kraju odgovarajućeg voda koje vide primarni i rezervni releji. Tabela 4 prikazuje rezultate dobijene optimizacijom: **1. način:** minimizacija sume vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku voda; **2. način:** minimizacija sume vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku i na kraju voda. U tabeli 5 i tabeli 6 su prikazana vremena reagovanja

releja za kvarove na počecima i krajevima vodova koja se dobijaju primenom načina 1 i načina 2, respektivno.



Slika 2: Radijalna distributivna mreža sa šest čvorova

Za sve releje primenom oba načina dobijena su minimalna vremena reagovanja (t_{min}=0,2s) za kvarove na početku voda. Pregledom dobijenih razlika vremena reagovanja (Δt) može se uočiti da u slučaju primene načina 1 osnovni uslov koordinacije (4) između releja R5 i R4 nije zadovoljen u slučaju kvara na kraju voda između čvorova 5 i 6. U pomenutom slučaju osim što nije zadovoljeno $\Delta t \geq CTI$, nego bi i rezervni relej reagovao pre primarnog releja $\Delta t < 0$. Dok se u slučaju primene načina 2 može se uočiti da je u svim slučajevima uslov koordinacije zadovoljen ($\Delta t \geq CTI$). Takođe su proračunata ukupna vremena reagovanja primarnih releja i rezervnih releja, i rezultati su prikazani u tabeli 7. Može se uočiti da je primenom načina 2 u svim slučajevima dobijeno manje ukupno vreme reagovanja releja.

Tabela 3 Struje opterećenja i struje kvara u distrubutivnoj mreži bez distribuiranih izvora

Parovi primarni – rezervni relej				**Struja kvara [A]**			
				početak voda		**kraj voda**	
primarni	**N_{ST}**	**$I_{opt\text{-}max}$ [A]**	**rezervni**	**primarni**	**rezervni**	**primarni**	**rezervni**
1	300/1	267,52	-	14338,6	-	3070,25	-
2	200/1	180,33	1	3070,25	3070,25	1684,23	1715,54
3	100/1	91,21	2	1684,23	1684,23	1142,61	1168,08
4	300/1	279,99	-	14338,6	-	3073,7	-
5	200/1	178,2	4	3073,7	3073,7	1682,57	1720,87

Tabela 4: Rezultati optimizacije – podešenja releja

	1. način			**2. način**		
relej	TDS	PS	Br. k-ke	TDS	PS	Br. k-ke
1	0.0868	2.5	1	0.0923	2.0874	1
2	0.109	1.8372	2	0.1372	1.4973	2
3	0.4904	1.1994	3	0.079	1.1435	1
4	0.0898	2.268	1	0.0923	2.0901	1
5	0.3184	1.3565	3	0.077	1.1152	1

Tabela 5: Rezultati za način 1 - Vremena reagovanja releja

		Vremena reagovanja [s]					
parovi		**kvar na početku voda**			**kvar na kraju voda**		
primarni relej	rezervni relej	primarni relej	rezervni relej	Δt	primarni relej	rezervni relej	Δt
1	-	0.2	-	-	0.425	-	-
2	1	0.2	0.425	0.225	0.411	0.728	0.317
3	2	0.2	0.411	0.211	0.437	0.675	0.238
4	-	0.2	-	-	0.411	-	-
5	4	0.2	0.411	0.211	0.68	0.671	-0.009

Tabela 6: Rezultati za način 2 - Vremena reagovanja releja

		Vremena reagovanja [s]					
parovi		**kvar na početku voda**			**kvar na kraju voda**		
primarni relej	rezervni relej	primarni relej	rezervni relej	Δt	primarni relej	rezervni relej	Δt
1	-	0.2	-	-	0.4	-	-
2	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.635	0.235
3	2	0.2	0.4	0.2	0.235	0.637	0.403
4	-	0.2	-	-	0.4	-	-
5	4	0.2	0.4	0.2	0.261	0.634	0.373

Tabela 7: Ukupno vreme reagovanja releja

	Ukupno vreme reagovanja releja [s]			
	kvar na početku voda		kvar na kraju voda	
	primarni releji	rezervni releji	primarni releji	rezervni releji
1. način	1	1.247	2.364	2.074
2. način	1	1.2	1.696	1.906

Imajući u vidu da relajna zaštita mora da bude selektivna i da što brže treba da eliminiše kvarove, na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je koordinaciju prekostrujnih releja je bolje vršiti primenom načina 2, odnosno: minimizacijom sume vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku i na kraju voda; i vođenjem računa da je osnovni uslov koordinacije (4) zadovoljen na početku i na kraju voda. Primenom načina 2 vodi se računa da vremenska razlika reagovanja u celom opsegu preklapanja karakteristika susednih releja bude jednaka ili duža od vremenskog intervala koordinacije (*CTI*).

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršena koordinacija prekostrujnih releja sa inverznom karakteristikom reagovanja primenom diferencijalne evolucione metode. Cilj optimizacije je bio da minimizira ukupno vreme reagovanja svih primarnih prekostrujnih releja tako što će da pronađe optimalnu karakteristiku reagovanja releja, kao i optimalna podešenja karakteristike: vremensku konstantu i umnožak podešene struje.

Problem koordinacije je rešen na dva načina, minimizacijom sume vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove: (i) na početku voda i (ii) za kvarove na početku i na kraju voda. Dobijeni rezultati su pokazali da je minimizacija sume vremena reagovanja svih primarnih releja za kvarove na početku i na kraju voda dala bolje rezultate u pogledu zadovoljenja selektivnosti i brzine reagovanja releja.

LITERATURA

[1] M. Đurić, Z. Stojanović, "Relejna zaštita", Beopres, Beograd 2014.

[2] Urdaneta, A.J., Restrepo, H., Marquez, S., Sanchez, J.: "Coordination of directional overcurrent relay timing using linear programming", IEEE Trans. on Power Delivery, 11, 1996, pp.122–129.

[3] Noghabi, A.S., Mashhadi, H.R., Sadeh, J.: "Optimal coordination of directional overcurrent relays considering different network topologies using interval linear programming", IEEE Transactions on Power Delivery, 25, 2010, pp. 1348–1354.

[4] Noghabi, A.S., Sadeh, J., Mashhadi, H.R.: "Considering different network topologies in optimal overcurrent relay coordination using a hybrid GA", IEEE Transactions on Power Delivery, 24, (4), 2009, pp. 1857-1863.

[5] Bedekar, P.P., Bhide, S.R.: "Optimum coordination of directional overcurrent relays using the hybrid GA-NLP approach", IEEE Transactions on Power Delivery, 26, (1), 2011, pp. 109-119.

[6] J. Krstivojević, D. Šošić, A. Savić, "Kordinacija prekostrujnih releja u distributivnoj mreži sa distribuiranim izvorima", Energija, ekonomija, ekologija, br. 1-2, mart 2017, pp. 392-399.

[7] K. Pirce and R. Storm, "Minimizing the real functions of the ICEC'96 contest by Differential Evolution," presented at the Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Nagoya, Japan, 20-22 May 1996.

2017

PRIMENE OI U SAOBRAĆAJU, TRANSPORTU I KOMUNIKACIJAMA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

METAHEURISTIČKI PRISTUP ZA LOCIRANJE DETEKTORA NA SAOBRAĆAJNIM MREŽAMA

METAHEURISTIC APPROACH FOR DETECTOR LOCATIONS IN TRANSPORT NETWORKS

DUŠAN TEODOROVIĆ[1], MILICA ŠELMIĆ[2], MILOŠ NIKOLIĆ[3], IVANA JOVANOVIĆ[4], MARIJO VIDAS[5]

[1] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd dusan@sf.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd m.selmic@sf.bg.ac.rs
[3] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd m.nikolic@sf.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd ivana.jovanovic@sf.bg.ac.rs
[5] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd m.vidas@sf.bg.ac.rs

---

Rezime: *U radu se rešava kompleksan problem lokacije detektora na delu saobraćajne mreže. Model koji je predstavljen minimizira grešku u proceni vremena putovanja, istovremeno vodeći računa o postojećim finansijskim ograničenjima. Za rešavanje lokacijskog problema korišćena je novija verzija metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela koja se oslanja na poboljšanje kompletnog rešenja. Predložena metaheuristika, inspirisana ponašanjem pčela u prirodi, testirana je na realnim podacima prikupljenim na magistralnom putu u Srbiji.*

Ključne reči: *Lokacija detektora, Metaheuristika, Optimizacija kolonijom pčela.*

Abstract: *Complex problem related to detectors locations is solved in this paper. The presented model tries to minimize travel time estimation error, while taking into account the budget constraints. The improvement version of the Bee Colony Optimization metaheuristic is used to solve formulated location problem. The proposed algorithm, inspired by bees' behavior in the nature, is tested on a real data collected from highway in the Republic of Serbia.*

Keywords: *Detector location, Metaheuristic, Bee Colony Optimization.*

1. UVOD

Na velikom broju saobraćajnih mreža postavljeni su detektori pomoću kojih se procenjuju vrednosti vremena putovanja. Prilikom postavljanja detektora neophodno je ostvariti kompromis između zahtevane tačnosti dobijenih rezultata i raspoloživih finansijskih sredstava. Naime, sa porastom broja postavljenih detektora povećava se i tačnost dobijenih informacija, uz istovremeno povećanje troškova postavljanja detektora i troškovi održavanja.

Osnovi cilj ovog rada je razvoj alata kojim bi se po izvršenoj analizi osetljivosti, uočila zavisnost procene vremena putovanja od broja postavljenih detektora (ili ukupnih uloženih novčanih sredstava). Razvijeni alat predstavlja značajnu pomoć planerima u procesu donošenja odluka u pogledu broja i konkretnih lokacija detektora.

Imajući u vidu kombinatornu prirodu i složenost problema, odlučeno je da se koristi metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela (*eng. Bee Colony Optimization* - BCO) kao alat za rešavanje navedenog problema. Korišćena je verzija algoritma u kojoj veštačke pčele poboljšavaju kompletno rešenje kroz iteracije. U dosadašnjoj literaturi ova verzija BCO metaherustike nije bila primenjena na rešavanje problema lociranja detektora na mrežama, već samo konstruktivna verzija (Šelmić *et al.* 2008).

Rad je organizovan na sledeći način. Posle uvoda, u drugom poglavlju dat je kratak pregled literature. Treće poglavlje sadrži opis razmatranog problema. Nakon toga, u četvrtom poglavlju je dat pojednostavljen opis BCO tehnike i primena na konkretnom lokacijskom problemu. Peto poglavlje sadrži numeričke rezultate. Konačno, šesto poglavlje čine zaključna razmatranja.

2. PREGLED LITERATURE

U prošlosti su se mnoge studije bavile algoritmima i tehnikama procene vremena putovanja na deonicama puteva. Uočavaju se tri osnovna pristupa proceni vremena putovanja:

- Prva grupa metoda koristi podatke prikupljene pomoću različitih vrsta uređaja. Savremeni uređaji (pametni telefoni, AVI (engl. Automatic Vehicle Identification) čitači, ili drugi slični uređaji (Deniz *et al.* 2013) mogu direktno da mere vremena putovanja. Šum u podacima usled greške u geolociranju, problem privatnosti u vezi sa korišćenjem informacija sa privatnih pametnih telefona, i visoki troškovi predstavljaju glavne nedostake ove grupe metoda.
- Druga grupa metoda obuhvata modele zasnovane na teoriji saobraćajnog toka (Nam and Drew 1996, Paterson and Rose 2008, Celikoglu 2014). Prednost ovih metoda je što mogu da zabeleže dinamičke karakteristike saobraćajnog toka. Glavni nedostatak ovih metoda je potreba za kalibracijom parametara.
- Treća grupa metoda su modeli zasnovani na trajektorijama vozila, koji koriste trenutne brzine na preseku puta kako bi se izračunalo vreme putovanja (Kianfar and Edara 2010, Li *et al.* 2006, Sun *et al.* 2008).

3. OPIS PROBLEMA

Kao što je već naznačeno, u ovom radu bavimo se problemom određivanja lokacije detektora za procenu vremena putovanja duž dela magistralnog puta. U literaturi (Šelmić *et al.* 2008, Edara *et al.* 2008) su definisane dve notacije vremena putovanja duž autoputa: stvarno vreme putovanja (eng. *Ground Truth Travel Time*-GTTT) i procenjeno vreme putovanja (eng. *Estimated Travel Time*-ETT). Stvarno vreme putovanja je poznato za svaku probnu vožnju i računa se veoma jednostavno pomoću GPS-a. Za svaku vožnju poznato je vreme ulaska i vreme izlaska u deonicu saobraćajne mreže. Procenjeno vreme se računa indirektno. Vreme putovanja na celoj deonici se procenjuje tako što se vreme putovanja računa za svaku uspostavljenu "zonu uticaja" (ZOI_i, i=1,2,..n). "Zona uticaja" svakog detektora se definiše kao polovina rastojanja između susednih detektora, x_{PLi}, i=1,2,..n (n je ukupan broj lociranih detektora).

Procenjena greška u merenju se računa kao razlika procenjenog i stvarnog vremena putovanja $\varepsilon = \left| \sum_{i=1}^{n} \frac{ZOI_i}{V_i} - GTTT \right|$, gde je V_i izmerena brzina duž zone uticaja detektora i, i=1,2,..n.. Relativna greška je shodno tome $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{GTTT}$. Konačno, kumulativna relativna greška jednaka je $\sum_{k=1}^{K} \frac{\varepsilon}{GTTT}$, gde je k indeks probne vožnje.

Uzimajući u obzir prethodne relacije funkcija cilja može biti napisana kao:

Minimizirati

$$\sum_{k=1}^{K} \left| \frac{\left(\frac{x_{PL_1} + x_{PL_2}}{2V_{1k}}\right) + \sum_{i=2}^{(n-1)} \left(\left(\frac{x_{PL_{i+1}} - x_{PL_{i-1}}}{2V_{ik}}\right)\right) + \left(\frac{L - \left((x_{PL_n} + x_{PL_{n-1}})/2\right)}{V_{nk}}\right) - GTTT_k}{GTTT_k} \right| \tag{1}$$

Uz uslov da je $x_{PLi} \geq 0, \forall i = 1,2,....,n$, a L je ukupna dužina deonice.

4. METAHEURISTIČKI PRISTUP

Optimizacija kolonijom pčela

Za potrebe rešavanja problema lociranja detektora na saobraćajnoj mreži, korišćena je metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela (Lučić i Teodorović 2001, 2002, 2003), i to kao što je već napomenuto, verzija u kojoj veštačke pčele iterativno vrše poboljšavanje kompletnog rešenja.

Pseudokod ove verzije BCO algoritma može se predstaviti na sledeći način:

***Algoritam BCO (ulaz** B, IT, NP, NC, **izlaz** S)*

1: Formirati početno rešenje.
2: Odrediti kvalitet početnog rešenja.
3: S ← Sačuvati početno rešenje kao najbolje.
4: ***for** j = 1 **to** IT **do***

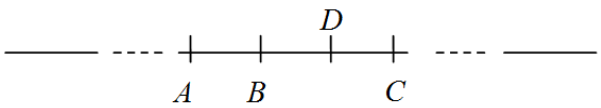
```
for i = 1 to B do
    pčela i ← Dodeliti rešenje pčeli i.
for k = 1 to NP do
    for r = 1 to NC do
        for i = 1 to B do
            Napraviti jednu modifikaciju rešenja pčele i.
            Odrediti kvalitet rešenja pčele i.
        if najbolje rešenje od svih pčela bolje od rešenja S then
            S ← Sačuvati najbolje rešenje pčela kao trenutno najbolje.
    Normalizovati rešenja pčela.
    for i = 1 to B do
        Odrediti da li je pčela i lojalna.
    for i = 1 to B do
        if pčela i nije lojalna then
            Odrediti jednu od lojalnih pčela koju će pčela i da prati..
```

Primena BCO na problem lociranja detektora

Priprema potrebnih podataka

Uzimajući u obzir da je ukupna dužina posmatrane deonice L, a da je m broj potencijalnih lokacija detektora, u radu je pretpostavljeno da su susedne potencijalne lokacije na istoj udaljenosti. Odnosno, dve susedne potencijalne lokacije su međusobno udaljene $d = \frac{L}{m}$, pri čemu se prva potencijalna lokacija nalazi na rastojanju $l_1 = \frac{d}{2}$ od početka deonice. Ostale potencijalne lokacije se nalaze na rastojanjima: $l_i = l_{i-1} + d,\ (i = 2, \ldots, m)$.

Naredni korak je bio da se za svaku već određenu potencijalnu lokaciju dobije, iz baze podataka, informacija o brzini koju je probno vozilo imalo u toj tački, u svakoj od vožnji. U radu je pretpostavljeno da je brzina u potencijalnoj lokaciji jednaka poslednjoj prethodno izmerenoj brzini. Odredimo brzinu u potencijalnoj lokaciji D u slučaju da su u tačkama A, B i C poznate brzine vozila (v_A, v_B i v_C respektivno).



Slika 1: Određivanje brzine vozila u potencijalnoj lokaciji

Uzimajući u obzir da je poslednja izmerena brzina vozila u tački B, onda je: $v_D = v_B$.

Određivanje početnog rešenja u okviru BCO

Na početku BCO algoritma potrebno je odrediti jedno početno rešenje. Kao logičnan pristup nameće se ideja da se detektori postave duž deonice na jednakim međusobnim rastojanjima. S obzirom na to da je izvršena diskretizacija mesta gde detektori mogu biti locirani, prvi detektor se raspoređuje na potencijalnu lokaciju koju je moguće odrediti na osnovu sledećeg izraza:

$$PL_1 = \left\lceil \frac{m}{2\,n} \right\rceil \tag{2}$$

Lokacije ostalih detektora se rekurzivno određuju kao:

$$PL_i = PL_{i-1} + \left\lfloor \frac{m}{n} \right\rfloor, i = 2, 3, \ldots, n \tag{3}$$

Modifikacija rešenja u okviru BCO algoritma

[1] Zaokruživanja na više i niže vrednosti je potrebno koristiti kada se kao rezultat količnika dobije vrednost koja nije celobrojna.

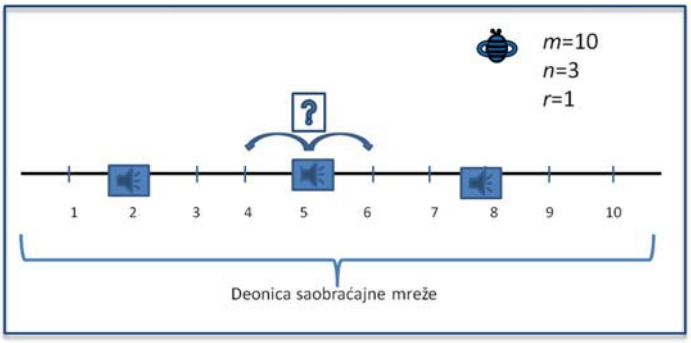
Jedan od najvažnijih koraka u okviru ovog BCO koncepta je modifikacija rešenja od strane pčela pri letu unapred. U ovom koraku pčela vrši promenu svog poslednjeg kompletnog rešenja. Kako bi se postigla veća raznolikost u dobijanju novih rešenja, određeni delovi logike pristupa za modifikaciju treba da imaju stohastički karakter. U tom smislu, za potrebe ovog rada, usvojeno je da pčela vrši promenu r trenutnih lokacija od ukupno n lociranih detektora. Ukupan broj detektora čija će lokacija biti promenjena se određuje na sledeći način:

$$r = rand(1, \min\{k, n)\}), \tag{4}$$

gde je k maksimalan broj detektora čije lokacije treba promeniti. U okviru rada za k je usvojena vrednost 4 (najviše je moguće promeniti lokacije 4 detektora odjednom).

Nakon što se odredi broj detektora kojima će biti promenjene lokacije, prelazi se na korak u kome se izvršavaju promene lokacija. Svaki od r detektora se bira na slučajan način. Definisano je da izabrani detektor može biti pomeren samo na neku od susednih lokacija. Sam izbor na koju susednu lokaciju će detektor biti pomeren određuje se na slučajan način, a verovatnoće pomeranja na levu ili desnu stranu su jednake, 0.5.

Pri pomeranjima detektora neophodno je voditi računa da li je susedna potencijalna lokacija slobodna ili ne. Ukoliko je slobodna, detektoru će biti dodeljena ta lokacija, odnosno, ukoliko nije detektor će ostati na svojoj trenutnoj lokaciji.



Slika 2: Ilustrativni primer modifikacije rešenja

Evaluacija rešenja i određivanje lojalnosti pčela

Nakon izvršene modifikacije lokacija detektora, let unapred je završen i svaka pčela ima po jedno kompletno rešenje. Za svako kompletno rešenje se vrši evaluacija kvaliteta rešenja na osnovu relacije (1). Kada se odredi kvalitet svakog kompletnog rešenja na početku leta unazad, potrebno je utvrditi koja pčela će ostati lojalna svom rešenju, a koja će odbaciti svoje i prihvatiti rešenje neke od lojalnih pčela. Lojalnost se utvrđuje na osnovu normalizovanih vrednosti kvaliteta rešenja pčela. Ukoliko sa C_b (b = 1, 2,..., B) označimo vrednost kriterijumske funkcije kompletnog rešenja b-te pčele (formula (1)), normalizovana vrednost O_b u slučaju minimizacije se računa po sledećoj relaciji:

$$O_b = \frac{C_{\max} - C_b}{C_{\max} - C_{\min}}, \quad b = 1,2,...,B, \tag{5}$$

gde su C_{min} и C_{max} kompletna rešenja koja respektivno odgovaraju minimalnoj i maksimalnoj vrednosti kriterijumske funkcije dobijene od strane svih pčela.

Verovatnoća da će b-ta pčela na početku sledećeg leta unapred biti lojalna svome do tada otkrivenom rešenju se izračunava na sledeći način:

$$p_b^{u+1} = e^{-(O_{\max} - O_b)}, \quad b = 1,2,...,B, \tag{6}$$

gde su:

O_b - normalizovana vrednost kriterijumske funkcije kompletnog rešenja b-te pčele;

O_{max} - maksimum svih normalizovanih vrednosti rešenja koje se porede.

Regrutacija neopredeljenih pčela

U slučaju kada na početku narednog leta unapred pčela ne želi da nastavi da modifikuje svoje prethodno rešenje, tada ona postaje neopredeljena i odlazi u prostor za igru. U prostoru za igru, lojalne pčele ubeđuju

neopredeljene da slede njihova kompletna rešenja. Verovatnoća da će rešenje *b*-te opredeljene pčele biti izabrano od strane neke od neopredeljenih pčela se računa po formuli:

$$p_b = \frac{O_b}{\sum_{k=1}^{R} O_k}, \quad b = 1,...,R, \tag{7}$$

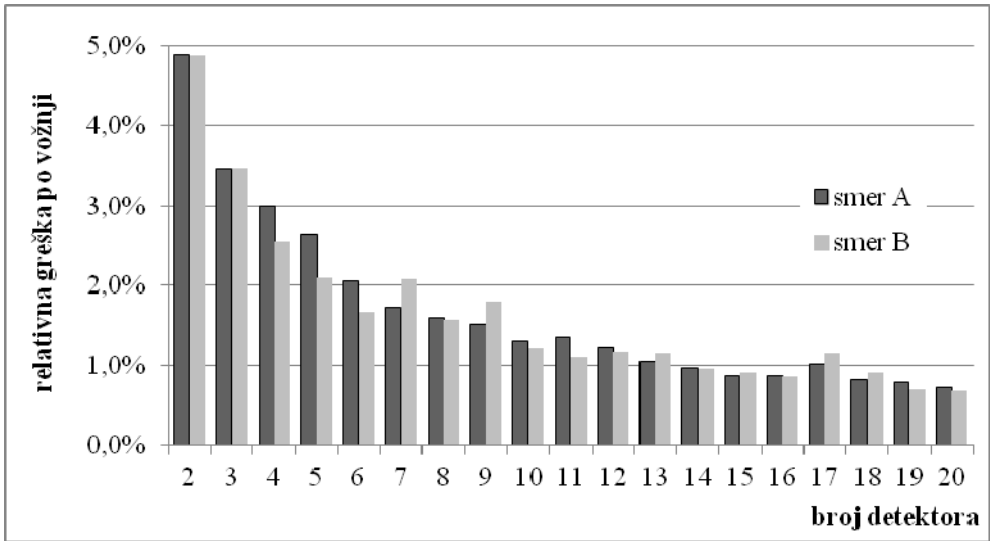
gde su:
O_k - normalizovana vrednost funkcije cilja *k*-tog ponuđenog rešenja;
R – broj opredeljenih pčela.

Konačno, iteracija se završava nakon što se letovi unapred i unazad izvrše NP puta. Usvaja se globalno najbolje rešenje i brišu se sve strukture podataka. Po BCO algoritmu iteracije se izvršavaju sve dok se ne zadovolji neki od kriterijuma zaustavljanja.

5. NUMERIČKI PRIMER

Predložena metaheuristika testirana je na realnim podacima prikupljenim na magistralnom putu u Srbiji (3km puta Ibarske magistrale). Podaci za vršni period sadrže ukupno 38 vožnji za oba smera. Varirano je između 2 i 20 detektora na 100 potencijalnih lokacija. U okviru BCO algoritma 15 pčela obavljalo je po 5 letova unapred, a sa po jednom modifikacijom rešenja.

Na slici 3 prikazana je relativna greška procenjenog vremena putovanja u odnosu na stvarno vreme izmereno probnim vozilom, a u zavisnosti od broja lociranih detektora. Uočava se da je greška velika kod malog broja detektora, i da opada sa porastom njihovog broja. Maksimalna relativna greška je za oba smera jednaka i iznosi 4.88% za dva detektora, a minimalna je 0,73% za smer A i 0,68% za smer B za 20 lociranih detektora.



Slika 3: Relativna greška procene vremena putovanja po vožnji

Od 100 potencijalnih lokacija detektora, najviše puta su se pojavile u smeru A lokacija 66 (9 puta), a u smeru B lokacije 29 i 40 (9 puta). Ove lokacije su izuzetno važne sa stanovišta pouzdanosti procene vremena putovanja, pa je važno obratiti pažnju na njihovo pravilno održavanje.

6. ZAKLJUČAK

Za rešavanje problema lociranja detektora na saobraćajnim mrežama primenjena je metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela, i to verzija u kojoj se kompletno rešenje poboljšava kroz iteracije. Model koji je korišćen minimizira grešku u proceni putovanja, istovremeno vodeći računa o postojećim finansijskim ograničenjima. Algoritam je testiran na stvarnim podacima dobijenim pomoću probnog vozila opremljenog GPS-om na delu Ibarske magistrale.

LITERATURA

[1] Celikoglu, B. H. (2014) "Dynamic classification of traffic flow patterns simulated by a switching multimode discrete cell transmission model", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15, 2539–2550.

[2] Deniz, O., Aksoy, G., Celikoglu, B. H. (2013) "Analyzing freeway travel times within a case study: reliability of route traversal times", *Proceedings of the 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 195– 202.

[3] Edara P.P., Guo J., Smith B.L., McGhee C. (2008) "Optimal placement of point detectors on Virginia's Freeways: Case studies of Northern Virginia and Richmond". Final Report VTRC 08-CR3, Virginia Transportation Research Council, Richmond, VA.

[4] Kianfar, J., Edara, P. (2010) "Optimizing freeway traffic sensor locations by clustering global-positioning-systemderived speed patterns", Intelligent Transportation Systems, *IEEE Transactions*, 11, 738–747.

[5] Li, R., Rose, G., Sarvi, M., "Evaluation of speed-based travel time estimation models", *Journal of Transportation Engineering*, 132, (2006) 540–547.

[6] Lučić, P., Teodorović, D. (2001) Bee System: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence, *Preprints of the TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis*, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, 441-445.

[7] Lučić, P., Teodorović, D. (2002) Transportation Modeling: An Artificial Life Approach", *Proceedings of the 14th IEEE "International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Washington D.C, 216-223.

[8] Lučić, P., Teodorović, D. (2003) Computing with Bees: Attacking Complex Transportation Engineering Problems, *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 12, 375-394.

[9] Nam, H. D., Drew, R. D. (1996) "Traffic dynamics: Methods for estimating freeway travel times in real time from flow measurements", *Journal of Transportation Engineering*, 122, 185–191.

[10] Paterson, D., Rose, G. (2008) "A recursive, cell processing model for predicting freeway travel times", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16, 432–453.

[11] Sun, L., Yang, J., Mahmassani, H. (2008) "Travel time estimation based on piecewise truncated quadratic speed trajectory", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42, 173–186.

[12] Šelmić M., Edara P., Teodorović D. (2008) "Lokacija senzora na autoputevima primenom Optimizacije kolonijom pčela", *Tehnika, separat Saobraćaj*, 6 (2008), 9-15.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

METHODOLOGY FOR SAFETY RISK ASSESSMENT IN FUTURE AIR TRAFFIC MANAGEMENT CONCEPT OF OPERATIONS

BOJANA MIRKOVIĆ[1], TATJANA KRSTIĆ SIMIĆ[2], FEĐA NETJASOV[3], OBRAD BABIĆ[4]

University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Division of Airports and Air Traffic Safety

[1]b.mirkovic@sf.bg.ac.rs,[2] t.krstic@sf.bg.ac.rs, [3]f.netjasov@sf.bg.ac.rs, [4]o.babic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *In future air traffic management (ATM) a significant increase in automation is expected, in order to cope with growing air transport demand. The automation will take more active role in provision of the air traffic control (ATC) services, while future air traffic controller (ATCo) will monitor and/or approve actions performed/proposed by automated ATC Systems. ATCo will need to be trained to safely adapt to new role, with special emphasis on participation in the case of automated system components failure. Designing appropriate training for future ATCo should rely on assessed safety hazards in future ATM. The methodology for risk assessment of future ATM concepts of operations is proposed and applied in AUTOPACE project. This paper presents eight steps that are a foundation for execution of safety hazard assessment. Brainstorming sessions with operational experts are perceived for hazard identification and for safety feed-back, i.e. providing recommendations for future training designers.*

Keywords: *risk assessment, air traffic management, hazard identification, air traffic controller, automation*

1. INTRODUCTION

Growing air transport demand creates constant pressure on the existing and prospective airspace and airports. In order to cope with such development in a safe and efficient way, according to SESAR and NextGEN initiatives, it will be necessary to develop a new generation of the Air Traffic Control (ATC) and Air Traffic Management (ATM) automation, communication, navigation and surveillance facilities and equipment, both airborne and ground-based. In such environment of advanced technology and high level of automation, better understanding of the particular processes and their influence on the human performances, becomes significant.

Based on SESAR's perspective (SESAR, 2014) about future evolution of ATC and ATM, ATM concept for 2050 and beyond is created within AUTOPACE project. A progressive introduction of more autonomous and decentralized systems is expected until full automation is reached. The implementation of such future ATC System will change the human (Air Traffic Controller - ATCo) role since the automated processes will replace significant number of tasks nowadays performed by ATCo.

This paper presents the knowledge arising from the AUTOPACE project (funded by the SESAR Joint Undertaking within the framework S2020 Exploratory Research Programme as part of the H2020 programme). The main objective of the project is to assess how novel automation features would impact on ATCo performances, tasks, skills and competences and training strategies. The AUTOPACE project should suggest training strategy for the future ATCos who will have less active role in regular, everyday operations, but needs to be adequately prepared to take over the given tasks once the ATC System failures occur. This paper addresses safety risk assessment, aiming to provide list of critical hazards that could be mitigated refining ATCo training strategies and/or the automation design.

Methodology for risk assessment proposed and applied in AUTOPACE project is presented in Section 2. Sections 3 to 8 describe each of the eight steps in more details. Concluding remarks are given in Section 9.

2. SAFETY RISK ASSESSMENT METHODOLOGY

In order to identify potential safety effects of the high automation implementation in ATC, the methodology for safety risk assessment of future ATM concepts of operation is proposed. The methodology is based on the fundamental risk management principles. Namely, the ICAO (ICAO Doc. 9859 2006) defines *risk management* as "the identification, analysis and elimination (and/or mitigation to an acceptable or tolerable

level) of those hazards, as well as the subsequent risks, that threaten the viability of an organization". Risk management serves to focus safety efforts on those hazards posing the greatest risks.
Risk management process assumes the following steps: hazard identification, hazard characterisation (severity/criticality, probability of occurrence, acceptability), risk mitigation and risk communication (ICAO 2005; ICAO Doc. 9859 2006; Netjasov 2015).

The methodology applied in AUTOPACE project consists of the following steps:

Step 1. Future ATM concept of operations definition;
Step 2. System boundaries and its components definition;
Step 3. Selection and definition of scenarios to be analyzed;
Step 4. Hazard identification: identify and analyze (qualitatively) safety hazards;
Step 5. Hazard categorization: chose the appropriate criteria (one or several);
Step 6. Hazard characterisation: assign severity and likelihood (in order to assess the risk of each hazard);
Step 7. Risk acceptance: define the risk criteria and list all the critical hazards;
Step 8. Provide safety recommendations for critical risks and propose risk mitigation measures.

3. CONCEPT OF OPERATIONS, SYSTEM AND SCENARIOS

Future ATM will be rather different than ATM we know nowadays. The sectors will evolve to significantly larger geographical areas. Within one large sector ATCo will be in charge for the certain number of flights (Flight Centric ATC). Supported with automation, one ATCo is assumed to take over both current roles: Executive and Planner Controller role. Free routing will apply. Airlines will file their desired trajectories that will pass through de-confliction process on the planning level. Airlines will enter negotiation process with ATC service providers about their trajectories. Once agreed on modified trajectories they will become so called 4D contract i.e. it will be guaranteed that trajectories will be conflict free along the way as long as airlines stick to it. More planning and pre-tactical interventions are expected and less tactical intervention. That, together with evolution in technology – surveillance, navigation, communication, data exchange etc., will enable conditions for higher involvement of automations in ATC processes.

In proposed methodology, future ATCo environment is observed through two main parts. Internal, core part contains ATCo and ATC System and their relations. External part (environment) gathers Local Traffic Manager, System Wide Information Management (SWIM), other ATC Systems/ATCos and traffic (aircraft/pilot) – Figure 1.

Two different visions of automation that could be expected by 2050 are assumed and analyzed in AUTOPACE project (AUTOPACE 2016):

- Scenario 1 – High Automation: ATC System assumes the major ATCo responsibilities. The ATCo takes the role of the supervisor of the ATC System operations (Figure 1, left).
- Scenario 2 – Medium Automation: ATCo has more active role. He/she decides which action to apply. ATC System proposes different alternative solutions of the actions to be performed (Figure 1, right).

For both scenarios, selected non-nominal situations (referring to system's function failure) were analyzed.

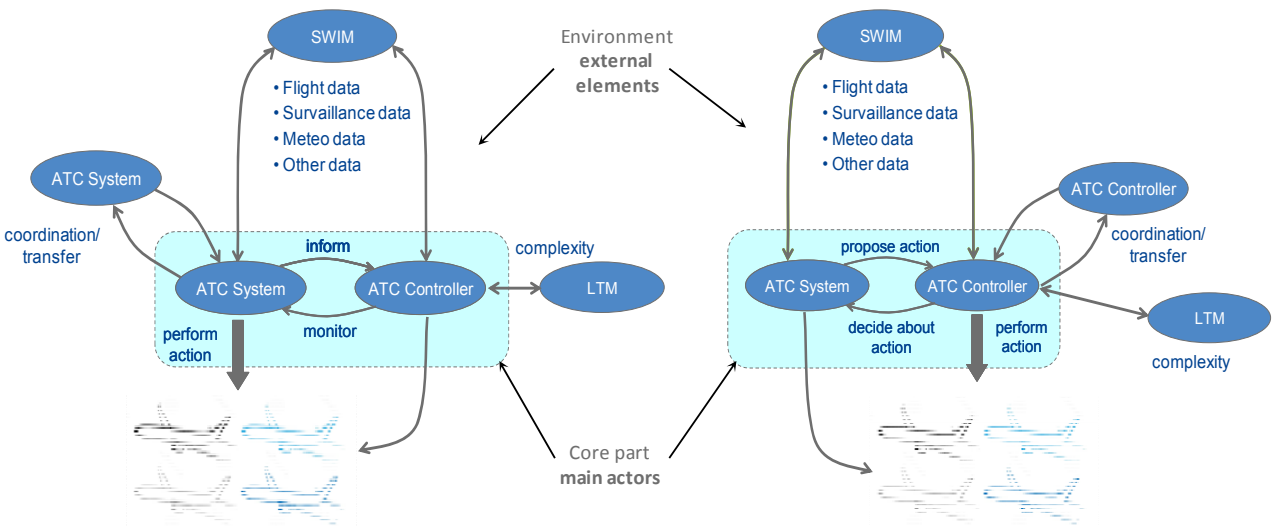


Figure 1: System elements and their interactions (left - Scenario 1, right - Scenario 2)

4. HAZARD IDENTIFICATION

Hazard identification is the most critical stage in safety assessment. "A hazard is an event/state that may: lead to a dangerous situation, or hamper resolution of such a situation, possibly in combination with other hazards or under certain conditions" (de Jong 2004; Netjasov 2015). Hazards may emanate from the operational concept itself (e.g. related to the proposed hardware, software, procedures, and/or human elements), from the external events in the environment (e.g. bad weather), or from failures or events in the system and/or other systems that can affect the system under consideration (FAA/EUROCONTROL 2007; Netjasov 2015).

Generally, hazards may be identified through a quantitative (data-driven) or qualitative process such as discussions, interviews and brainstorming. In order to assess safety hazards, an approach based on hazard identification brainstorming sessions with operational experts, combining advantages of four well known and complementary methods used in aviation is proposed:

- Brainstorming sessions with operational experts (focused on operational hazards) (ECAST 2009);
- Functional Hazard Assessment – FHA (focused on technical hazards) (SAM 2006; Netjasov 2015);
- Future Aviation Safety Team – FAST (focused on areas of change) (FAST 2006);
- Structured What If Tool – SWIFT (carried out on a higher level system description which is case in AUTOPACE project) (ECAST 2009; Netjasov 2015).

Since the far future system is analysed comprising lots of uncertainties, in AUTOPACE the main contribution was from the brainstorming sessions with operational experts. European Commercial Aviation Safety Team - ECAST describes brainstorming as "an unbounded but facilitated discussion within a group of experts." The brainstorming session facilitator prepares "issues ahead of the group session and then encourages imaginative thinking and discussion between group members during the session." The main characteristics of this way of hazard identification are that all "contributions are accepted and recorded and no view is challenged or criticized." This way of working "provides an environment in which the experts feel comfortable in thinking" (ECAST 2009).

Two hazard identification (expert brainstorming) sessions were perceived in this case, both performed based on future tasks and description of nominal and non-nominal situations. The first one, with academic experts (in safety and ATM field) aims to result with initial set of hazards. The second with operational experts (experienced ATCos), aims to validate the initial set of hazards and possibly enrich it with some additional, complementary hazards.

5. HAZARD CATEGORIZATION

Two groups of hazards appeared as relevant: Operations specific i.e. general hazards are associated to the particular scenario/situation in general, and Task specific hazards which are related to the tasks which should be performed during operations.

In order to be consistent and comprehensive in hazard identification and, later, with hazard characterisation, for all observed scenarios/situations and types of tasks, hazards should be categorized with respect to several criteria. In AUTOPACE project three criteria for categorization are used:

I. Responsibility share;
II. Nature of hazard;
III. Origin of hazards (Internal/External).

The categorization is important for the risk assessment. Rules to assign severity and likelihood for hazards are connected to hazard characterization.

In the first group three levels of responsibility share between ATC System and ATCo are recognized. With respect to their origin hazards are split to those related to the core part of the system (ATC System and ATCo) and external components (belonging to environment). Nature of hazard is the most relevant categorization for hazard characterization. Eight categories are recognized in this project (e.g. Reduced situation awareness, Incorrect input, Uncertain traffic evolution, etc.)

6. HAZARD CHARACTERISATION

Hazard characterisation is a process in which for each hazard a severity and likelihood are assigned based on expert judgement.

Based on ICAO recommendations (ICAO 2005; ICAO Doc. 9859, 2006; Netjasov 2015) and some examples from industry and previous studies five category scale (1 - lowest to 5 - highest) for both severity and likelihood is considered as the most appropriate for AUTOPACE project. Each quantitative value holds the description given in Table 1 for severity and in Table 2 for likelihood.

When assigning the severity and likelihood to each hazard (task specific or general) some high level guidelines should be used concerning relations between values assigned to each hazard in different scenarios (nominal and non-nominal situations). As mentioned before, they should be connected to specific hazard category.

Table 1: Severity classes

Severity class		Description – possible effects on operations and air traffic service
5	**Accident**	Examples: Total loss of flight control. Mid-air collision.
4	**Serious (major) incident**	Large reduction in safety margins or a total loss of air traffic control for a significant time.
3	**Moderate incident**	Significant reduction in safety margins or significant reduction in air traffic control capability.
2	**Minor incident**	Slight reduction in safety margins or slight reduction in air traffic control capability.
1	**No safety effect**	No immediate direct or indirect impact on the operations. Slight increase in air traffic controller workload.

Table 2: Likelihood classes

Likelihood class		Description
5	**(Almost) certain**	May occur once or several times during the day.
4	**Probable**	May occur once or several times during one week, but not each day.
3	**Possible**	Unlikely to occur every day, but may occur once or several times during one month.
2	**Unlikely**	May occur once or several times during the year.
1	**Rare**	Should virtually never occur.

7. RISK ACCEPTANCE CRITERIA

The criteria adopted for AUTOPACE project to classify risks to be acceptable, tolerable (medium and high) or unacceptable are presented in the risk matrix – Figure 2 (description of risk levels is also provided). Each hazard is, according to assigned severity and likelihood, allocated in the appropriate field.

Green fields represent acceptable risk, considered to be manageable by routine procedures. Two levels of tolerable risk zone are defined for AUTOPACE. Yellow represents minor risk and requires development of appropriate procedure for the risk mitigation. Orange requires special, strategic mitigation measures to be developed and implemented. Unacceptable zone is shown in red, meaning that review of the system functioning (including both ATC System and ATCo, their functioning and inter-relations) is required in this area.

In order to provide proper safety feed-back, it is important to identify critical hazards and distinct between various types of hazards with respect to measures needed to decrease the level of risk – mitigation measures. Critical hazards are those with the High and Unacceptable risk level.

Risk matrix		Severity				
		1	2	3	4	5
Likelihood	5					
	4					
	3					
	2					
	1					

Level of risk	Description
Unacceptable	Review the functioning of the system.
High Risk	Strategical measures required. Develop and implement appropriate measures.
Medium Risk	Develop appropriate procedures in order to mitigate risk.
Acceptable	Manage by routine procedures.

Figure 2: Risk matrix applied in AUTOPACE project with description of risk levels

8. SAFETY RECOMENDATIONS

Critical hazards are divided in two groups. The first one is ATCo skills/competences related hazards, and the second one is System and procedures related hazards.

System and procedures related hazards should be taken into account during the system re-design and implementation.

The focus of AUTOPACE project is on the first group of hazards since their risk level can be decreased (through severity and likelihood) with appropriately designed training. Those are hazards related to ATCo

performances, reduced situation awareness due to boredom/fatigue/overload/too much information shown/ tunnelling, human errors - slips/lapses/mistakes/violations, etc. To find appropriate mitigation measures, training designers should pay attention to each hazard and its characteristics.

In this stage, another brainstorming session with experts involved with ATCo training (experienced ATCos, instructors, training designers, etc.) should be performed to identify possible measures to mitigate critical hazards through newly designed training for the future ATCos.

Second cycle of the safety analysis can be performed with modified training strategy in order to show how appropriate training improves safety of the system.

9. CONCLUSION

High level of automation in future ATM will significantly change concept of operations, and consequently human role in the future environment that is expected to engage automation to much more extent than nowadays.

Related to the main objective of the AUTOPACE project (to assess how novel automation features would impact on ATCo performances, tasks and training strategies), one of the goals was to identify potential safety effects of the high automation implementation, in order to provide list of critical issues that should be addressed by refining ATCo training strategies and/or the automation design.

In order to assess safety hazards, a methodology for safety risk assessment of future air traffic management concepts of operation is proposed and described in this paper. The eight step methodology is proposed. This paper describes each step and presents a foundation for execution of safety hazard assessment. Hazard identification, as the most important step, is performed through brainstorming sessions with operational experts, combining four well known and complementary methods used in aviation. The advantages of brainstorming sessions are also used in the final step to provide as more useful as possible recommendations to training designers.

Acknowledgement

This paper is part of a project that has received funding from the SESAR Joint Undertaking under grant agreement No 699238 (AUTOPACE - Facilitating the Automation Pace, http://autopace.eu/) under European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. The opinions expressed herein reflect the author's view only. Under no circumstances shall the SESAR Joint Undertaking be responsible for any use that may be made of the information contained herein.

REFERENCES

[1] AUTOPACE Consortium (2016). Deliverable D2.1. - Future Automation Scenarios (v00.02.00), H2020-SESAR-2015-1.

[2] de Jong H. (2004). Guidelines for the identification of hazards: How to make unimaginable hazards imaginable? (NLR-CR-2004-094), NLR, Amsterdam.

[3] ECAST (2009). Guidance on Hazards Identification. European Commercial Aviation Safety Team. European Strategic Safety Initiative (ESSI).

[4] FAA/EUROCONTROL (2007). ATM Safety Techniques and Toolbox, Safety Action Plan-15 (Version 2.0). US Federal Aviation Administration & European Organisation for the Safety of Air Navigation.

[5] FAST (2006). The FAST Approach to Discovering Aviation Futures and Associated Hazards, Methodology Handbook. Future Aviation Safety Team.

[6] ICAO (2005). ICAO Accident Prevention Programme. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.

[7] ICAO (2006). Doc. 9859 - Safety Management Manual (SMM), 1st edition, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.

[8] Netjasov F. (2015). Air Transport Safety: An Introduction (ISBN 978-16-3321-927-4), Nova Science Publishers, Inc., NY, USA.

[9] SAM (2006). Safety Assessment Methodology (Version 2.1). European Organisation for the Safety of Air Navigation.

[10] SESAR Joint Undertaking (2014). SESAR Concept Of Operations Step 2, B04.02, Del ID D105, Edition 01.01.00, 2014.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

ASSESSMENT OF SAFETY PERFORMANCE INDICATORS OF FUTURE AIR TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM

FEĐA NETJASOV[1], DUŠAN CRNOGORAC[2]

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering,
[1]Division of Airports and Air Traffic Safety, [2]Computer Centre
[1]f.netjasov@sf.bg.ac.rs, [2]crni@sf.bg.ac.rs

Abstract: *This paper presents a safety performance indicators assessment model developed for the purpose of APACHE project (funded by the SESAR Joint Undertaking within the framework SESAR 2020 Exploratory Research Programme as part of the Horizon 2020 programme). The APACHE project proposes a new framework to assess European Air Traffic Management (ATM) performance based on simulation, optimization and performance assessment tools that will be able to capture the complex interdependencies between Key Performance Areas (KPAs) at different modelling scales (micro, meso and macro). The APACHE System is the platform, build up with different software components (existing and to be developed) implementing a wide set of performance indicators across several KPAs. In this paper a part of this platform related to Safety Assessment of future ATM system is presented and illustrated.*

Keywords: *Risk Assessment, Aviation Safety, Air Traffic Control, Air Traffic Management*

1. INTRODUCTION

Air transport demand often exceeds available capacity of the air transport system, resulting in a series of negative consequences (flight delays, flight cancelations, etc.). On the other hand, the expectations of the air traffic management (ATM) community and the whole society are much bigger and primarily related to an increase in safety, environmental protection, reduction in delays and ticket prices, etc. In such circumstances, the existing ATM system has to undergo certain changes that will allow it to meet these often-contradictory requirements in the future (APACHE, 2017a).

In the 1980s, ATM community has recognized this complex problem. A need to create a more efficient, safer and ecologically sustainable system at the global, regional and national levels was defined, which will make maximum use of numerous possibilities of modern technical and technological achievements. One of the main pillars of the future ATM system should be an efficient Performance Management System, which will enable managers to assess progress in various fields such as (in the context of air traffic) safety, capacity, accessibility, cost-efficiency, environment etc., with a significantly greater reliability (APACHE, 2017a).

In 1998, EUROCONTROL founded the "Performance Review Commission" (PRC) with the aim of establishing an independent and transparent performance management system within the European ATM system. The Commission is supported in its work by the "Performance Review Unit" (PRU), which is directly involved in collecting and analysing performance data in collaboration with airspace users, ANSPs, airports, etc. (EUROCONTROL, 2016a). Every year the PRC issues “Performance Review Reports” (PRR (EUROCONTROL, 2016b)) which provide information on the air traffic demand (expressed as a total number of IFR flights) and performance of the European ATM system in the four main KPAs (safety, capacity, environment and cost-efficiency).

The APACHE[1] project proposes a new framework to assess European ATM performance based on simulation, optimization and performance assessment tools that will be able to capture the complex interdependencies between Key Performance Areas (KPAs) at different modelling scales (micro, meso and macro) (APACHE 2016).

The APACHE System is the platform, build up with different software components (existing and to be developed) implementing a wide set of performance indicators across several KPAs. Moreover, the APACHE System can be configured to synthesize aircraft trajectories and airspace sectorisation for future

[1] APACHE - Assessment of Performance in current ATM operations and of new Concepts of operations for its Holistic Enhancement (http://apache-sesar.barcelonatech-upc.eu/en)

scenarios, in line with the SESAR 2020[2] scope, where input data is not available (and also for hypothetical scenarios based in the current concept of operations) (APACHE 2017b). In this paper a part of this platform related to Safety Assessment of future ATM system is presented and illustrated.

2. SAFETY PERFORMANCE INDICATORS

Safety Performance Indicators (PIs) are part of the wider APACHE performance framework (APACHE, 2017a). Related to the scope of APACHE project, the PRU is currently assessing a range of PIs in the field of safety, e.g. number of accidents and serious incidents, number of reported unauthorised penetrations of airspace, number of reported separation minima infringements, etc., among which two are used as KPIs: Total commercial air transport accidents; and the number of accidents with air navigation service contribution. All PIs and KPIs are based on accident/incident investigation reports (post operation analysis). APACHE proposes performance indicators which are measurable in simulation and could be measurable in a real system as well, but are not dependent on accident/incident reporting (APACHE, 2017a).

Two categories of PIs are proposed in APACHE based on their values (APACHE, 2017a): absolute and relative one. Indicators with absolute values are given as counts of specific occurrences, listed in Table 1 by ascending severity Traffic Alert (TA) warnings (SAF-1), Resolution Advisories (RA) issued (SAF-2), Near Mid Air Collisions – NMACs (SAF-3). All these indicators could be also given as rates of specific occurrences, i.e. as counts normalized by the number of flights or total flight hours through the given airspace. Similarly, number (or rate) of separation violations could be used to indicate safety (SAF-4).

Apart from these indicators, and related to the latter one, it is proposed to measure separation violation for aircraft in conflict (SAF-5), in situations when either horizontal, vertical or both separation minima are violated, as well as duration of conflict situations (SAF-6). Based on these two indicators it is possible to calculate a risk of conflicts and risk of accidents (SAF-7).

Each portion of airspace can be characterized by those indictors in order to find out a “hot spots” in the airspace (portion of airspace with the highest values of most serious occurrences). Apart from finding the geographically most safety jeopardized location it is also possible to follow distribution of each absolute indicator during given period of time (time series) in order to find out the moment of time in which the highest values are expected (APACHE, 2017a).

Table 1: New Safety PIs proposed, indicators with absolute values (APACHE, 2017a)

Indicators	Unit	Description
SAF-1: Number of Traffic Alerts warnings	No. TAs	Count of TAs
SAF-1.1: Traffic Alerts warnings	TAs/flight (hour)	(Number of TAs) / (Number of flights or Flight hours)
SAF-2: Number of Resolution Advisors issued	No. RAs	Count of RAs
SAF-2.1: Resolution Advisors issued	RAs/flight (hour)	(Number of RAs) / (Number of flights or Flight hours)
SAF-3: Number of Near Mid Air Collisions – NMACs	No. NMACs	Count of NMACs
SAF-3.1: Near Mid Air Collisions – NMACs	NMACs/flight (hour)	(Number of NMACs) / (Number of flights or Flight hours)
SAF-4: Number of separation violations	No.SVs	Count of separation violations
SAF-4.1: Separation violations	SVs/flight (hour)	(Number of separation violations) / (Number of flights or Flight hours)
SAF-5: Severity of separation violations	-	[(Separation minima) – (Actual separation)] / (Separation minima) *Remark:* It is computed by simulation of traffic within given airspace.
SAF-6: Duration of separation violations	Sec	Time during which separation minima is violated. *Remark:* It is computed by simulation of traffic within given airspace.
SAF-7: Risk of conflicts/accidents	-	Compound PI which depends on SAF-5 and SAF-6

TAs/RAs, NMACs occur very often. According to study of Gottstein and Form (2009), in average 3 TCAS-related events occur in German airspace every day. So, count of those occurrences could be a good proxy of what is really happening in the airspace. Of course, TAs/RAs, NMACs are based on anticipation of distance at closest point of approach between two aircrafts when this anticipation is time-based.

[2] SESAR 2020 – Single European Sky ATM Research Programme (https://www.sesarju.eu/)

Apart from those indicators, there is also separation violation situations, i.e. conflicts, determination of which is based on actual distance between two aircrafts and depends on separation minima applied. Duration of separation violation situation is measured as a time period in which actual separation is lower than separation minima, while severity presents a measure of how close the difference between actual separation and separation minima is to zero (Figure 1). Risk of conflict represents a combination of duration and severity of separation violation (Netjasov 2010, 2012).

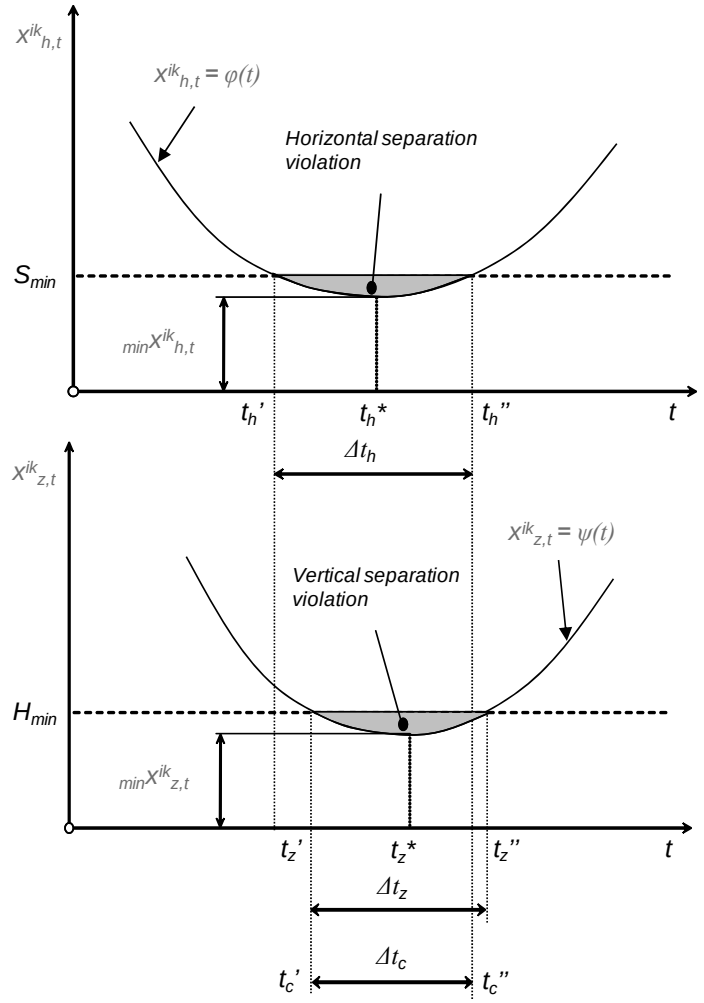


Figure 1: Representation of potential conflict duration and severity (S_{min} and H_{min} are horizontal and vertical separation minima respectively, Δt_c is conflict duraction (Netjasov 2010, 2012))

Normalized values of counts present how frequent mentioned occurrences are relative to the number of flights passing through a given airspace or relative to total flight time of all flights passing through the same airspace (APACHE, 2017a).

3. MODELLING APPROACH

In order to assess safety of future ATM system within APACHE performance framework a Risk Assessment (RA) component is proposed. RA is intended for simulation of air traffic consisting of optimal flights trajectories (output of Trajectory Planner (TP) and Traffic and Capacity Planner component (TCP)) through a given airspace sectorisation (output from Airspace Planner (ASP) component) with aim to assess safety performances and to provide outputs in form of Safety KPIs as well as safety feedback (which could be considered by TCP and ASP components in case that proposed flight trajectories and sector boundaries are not suitable from the safety point of view) (APACHE, 2017b).

The RA component is consisting of three modules (Figure 2):

- Separation violation detection module,
- TCAS activation module and
- Risk of conflict/accident assessment module.

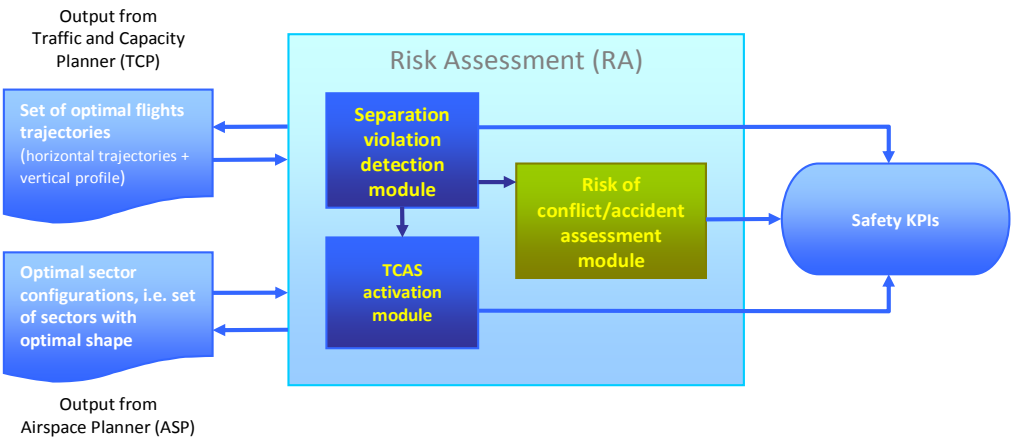


Figure 2: RA module architecture (APACHE 2017b)

The RA component is based on the assumption that conflict between pair of aircraft exists when either horizontal and/or vertical separation minima are violated. The Separation violation detection module compares actual separation of aircraft (both in horizontal and vertical plane) with given separation minima in order to detect potential conflict. Once conflict is detected this module counts them (SAF-4) and then for each conflict calculates severity (SAF-5) and duration (SAF-6) of conflict situation in the observed airspace under given circumstances (APACHE 2017b).

If the situation worsens the TCAS activation module is activated. It counts Traffic Alerts (SAF-1) and Resolution Advisories (SAF-2) warnings and based on them number of NMACs (SAF-3) (APACHE 2017b).

The risk of conflict/accident assessment module is based on calculation of 'elementary risk' which is defined as the area between the surface limited by the minimum separation line and the function representing the change of aircraft separation. The risk of conflict/accident (SAF-7) is then defined as the ratio between the 'elementary risk' and the observed period of time. Apart from the risk between specific aircraft pairs, an assessment of the total risk in a given sector is also considered (APACHE 2017b).

The conflict/accident risk between aircraft pairs and the total conflict/accident risk depends on airspace geometry, traffic demand, aircraft velocities, spatial and temporal distribution of air traffic in the airspace as well as the applied separation minima. As such, the risk value taken as a safety feedback could suggest changes in flight trajectories and/or changes in sector boundaries, i.e. sector geometry.

Based on the RA architecture (Figure 2) a specific computer programme (written in Python language) is developed containing following:

- STEP 1: Reduction of traffic input (triage) eliminating flights not in conflict (divergent trajectories, different FLs, different entry times, etc.);
- STEP 2: Determination of flights in conflicts and calculation of risks and other safety indicators (Netjasov 2010, 2012);
- STEP 3: Checking whether TCAS will be activated and how (TA only, or TA with RA, or RA revision, etc), and counting of TCAS events. It is based on (Netjasov 2011, 2013).

4. NUMERICAL EXAMPLE

In order to illustrate developed RA component, a set of 1340 planned flights passing through French airspace (July 28, 2016 between 10:00 - 12:00 local time) is chosen. For each flight a detailed 4D trajectory was available (Figure 3).

A deterministic simulation was performed with the following parameters:

- Time increment – 10 sec;
- Horizontal separation – 10 NM and 5 NM;
- Vertical separation – 1000 ft.

Analysing outputs a following results and values for PIs were obtained:

- Number of possible aircraft pairs: 897.130;
- Number of possible conflicts (SAF-4) with horizontal separation minima of 10NM: 3232;
- Number of possible conflicts (SAF-4) with horizontal separation minima of 5NM: 1715;
- Number of possible encounters in which only TA will be activated (SAF-1): 236;
- Number of possible encounters in which both TA and RA will be activated (SAF-2): 15;
- Number of possible Near Mid Air Collisions (SAF-3): 3;

- Risk of conflicts for horizontal separation minima of 10NM (SAF-7): 0.16;
- Risk of conflicts for horizontal separation minima of 5NM (SAF-7): 0.09;

For each separation violations it was possible to instantly identify aircraft in conflicts. This information presents a safety feedback which could serve for flight plans amendments in TP and TCP components of APACHE.

There is also possibility to find out "hot spots" (Figure 4), i.e. geographical locations with higher frequency of conflicts. This information also presents a safety feedback which could serve for amendment of sector boundaries in ASP component of APACHE.

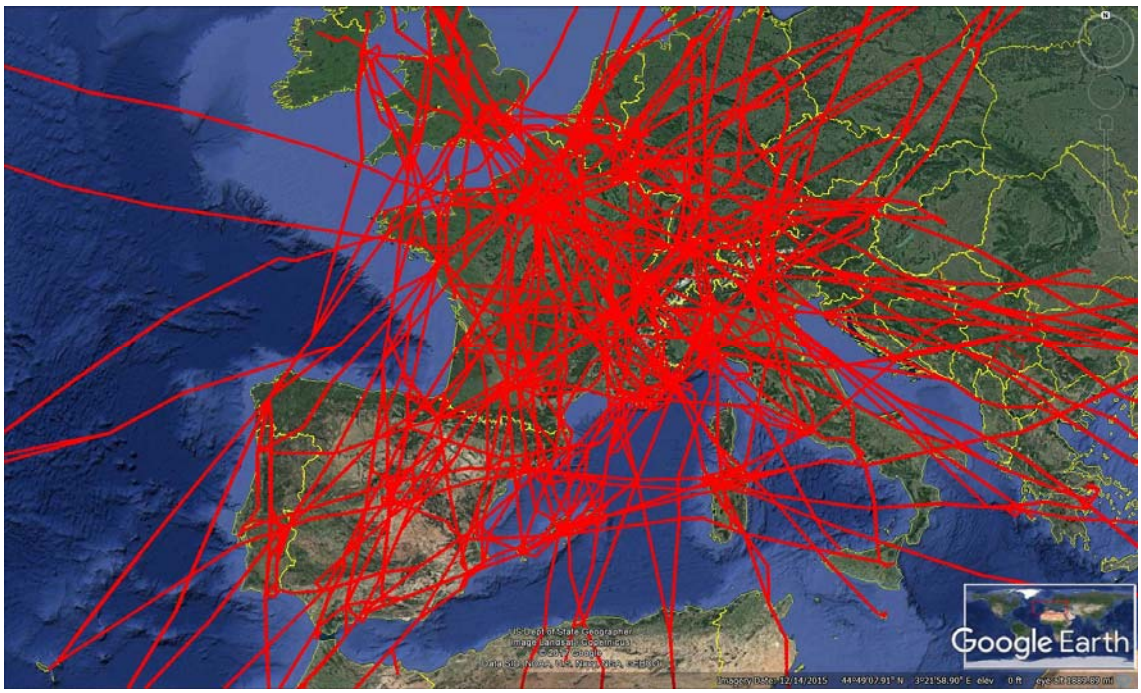


Figure 3: Trajectories of planned flights passing through Franche airspace on July 28, 2016 between 10:00 and 12:00 local time

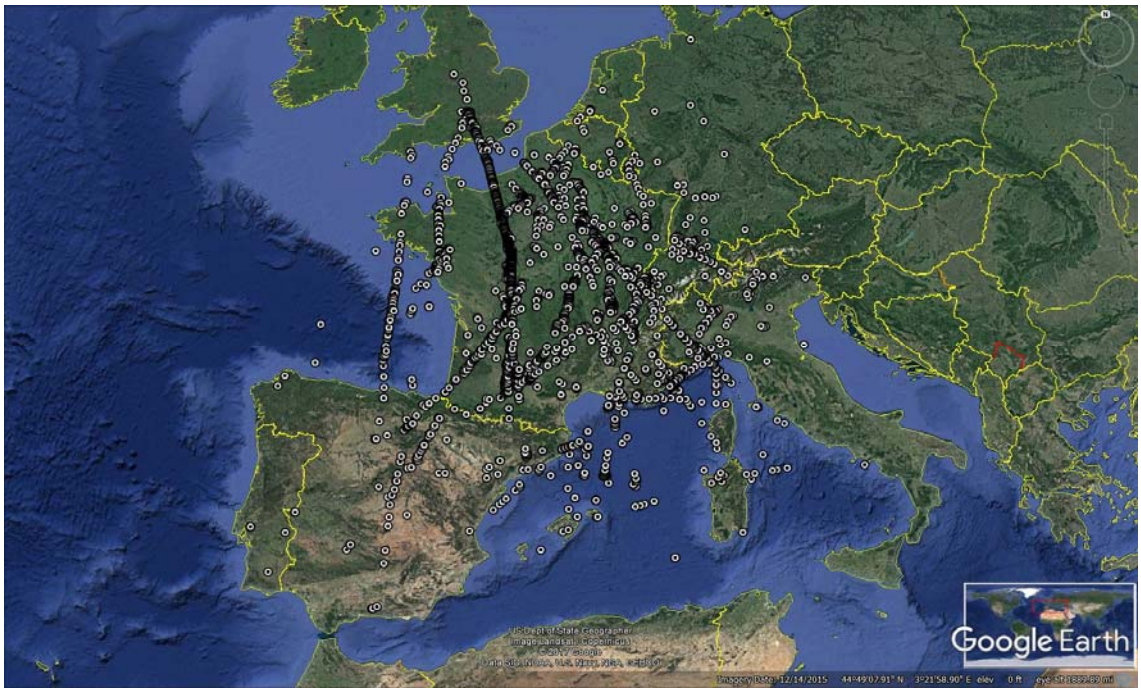


Figure 4: Dispersion of locations of conflicts (each point represents a closest point of approach for a pair of aircraft)

5. CONCLUSION

Within the APACHE project a new framework to assess future European Air Traffic Management system performance based on simulation, optimization and performance assessment tools at different modelling scales (micro, meso and macro). This paper presents a Risk Assessment component developed with aim to assess Safety Performance of future ATM system.

Risk Assessment component is consisting of three modules: separation violation detection module, TCAS activation module and risk of conflict/accident assessment module. Modelling approach followed during development of this module is containing three steps: reduction of traffic input, determination of flights in conflicts and calculation of risks and TCAS activation checking. A dedicated computer programme written in Python language is developed.

Developed model was tested on two hour planned flights through French airspace and shows capabilities to calculate certain safety performance indicators and to provide valuable safety feedback to traffic and airspace planners.

Further research will go in two directions. One direction should cover validation of developed model and other direction will aim to cover wider area (European wide) and time (full day traffic).

Acknowledgement

This paper is part of a project that has received funding from the SESAR Joint Undertaking under grant agreement No 699338 (APACHE - Assessment of Performance in current ATM operations and of new Concepts of operations for its Holistic Enhancement, http://apache-sesar.barcelonatech-upc.eu/en) under European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. The opinions expressed herein reflect the author's view only. Under no circumstances shall the SESAR Joint Undertaking be responsible for any use that may be made of the information contained herein.

REFERENCES

[1] APACHE (2016). Deliverable 2.1: Scope and definition of the concept of operations for the project

[2] APACHE (2017a). Deliverable 3.1: Review of current KPIs and proposal for new ones.

[3] APACHE (2017b). Deliverable 3.2: Functional requirements and specifications for the ATM performance assessment framework

[4] EUROCONTROL, 2016a. Performance Review Body of SES. Retrieved from: http://www.eurocontrol.int/articles/performance-review-body-ses

[5] EUROCONTROL, 2016b. Performance Review Report 2015. Brussels, Belgium.

[6] Netjasov, F. (2010). Conflict Risk Assessment Model for Airspace Tactical Planning. Proceedings of SYM-OP-IS 2010 (37th Symposium of Operations Research), Tara, Serbia, 673-676.

[7] Netjasov, F., Vidosavljevic, A., Tosic, V. (2011). Safety Analysis of Airborne Collision Avoidance System Operations. Proceedings of SYM-OP-IS 2011 (38th Symposium of Operations Research), Zlatibor, Serbia, 701-704.

[8] Netjasov F. (2012). Framework for airspace planning and design based on conflict risk assessment, Part 2: Conflict risk assessment model for airspace tactical planning. Transportation Research Part C, 24, 213–226.

[9] Netjasov F., Vidosavljevic A., Tosic V., Blom H. (2013). Development, Validation and Application of Stochastically and Dynamically Coloured Petri Net Model of ACAS Operations for Safety Assessment Purposes. Transportation Research Part C. 33, 167-195.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

AUCTION-BASED PRICING MECHANISMS FOR CLOUD SPOT INSTANCES

BRANKA MIKAVICA[1], ALEKSANDRA KOSTIĆ-LJUBISAVLJEVIĆ[2], VESNA RADONJIĆ ĐOGATOVIĆ[3]

[1] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, b.mikavica@sf.bg.ac.rs
[2] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, a.kostic@sf.bg.ac.rs
[3] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, v.radonjic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *This paper addresses auction-based pricing mechanisms for a cloud provider's idle resources. Cloud customers place their bids and choose one of three different bidding strategies: bidding close to the reservation price per billing cycle, bidding close to the on-demand price per billing cycle and bidding equal of higher than on-demand price. Three scenarios are observed: Uniform price auction, Generalized Second-price auction and Generalized Third-price auction. The aim of this paper is to provide a comprehensive analysis and comparison of these pricing mechanisms from spot prices and cloud provider's revenue maximization perspectives. Spot prices per each billing cycle obtained using these auction mechanisms are compared depending on traffic load and cloud customers' incentives to bid truthfully. Finally, we observe a cloud provider's revenue under these pricing mechanisms.*

Keywords: *Auctions, Cloud provider, Cloud customer, Bidding strategies, Spot prices.*

1. INTRODUCTION

According to (ITU-T Recommendation Y.3500), cloud computing is a paradigm for enabling network access to a scalable and elastic pool of shareable physical or virtual resources with self-service provisioning and administration on-demand. The participants in cloud computing generally include cloud providers and cloud customers. Cloud provider's resources are offered in the form of cloud instances. Each instance represents a virtual machine (VM) with certain virtual hardware configuration and operating system. In general, existing instances are available under three different pricing mechanisms: on-demand, reservation and spot pricing. The price that cloud customers pay for required resources is determined by instance type and pricing mechanism. On-demand pricing mechanism enables cloud customers to pay a fixed amount for utilized resources (on-demand instances) per billing cycle without long term contract with cloud provider. Reservation pricing mechanism requires payment of an upfront reservation fee in order to reserve cloud resources (reserved instances) for a specific period of time, usually a year or three years. In exchange, cloud customers have considerably lower prices per billing cycle. On-demand and reservation pricing mechanisms are considered as static, since prices for cloud resources cannot be increased or decreased for under and over-utilization of the resources, respectively. Spot pricing is dynamic pricing scheme, introduced by Amazon in December 2009. Spot prices are dynamically set by cloud provider depending on the availability of the idle resources (spot instances) and current demand. This pricing mechanism is based on the Uniform price auction by (Zhang et al. 2011). Cloud customers submit their bids, i.e. maximum prices they are willing to pay per billing cycle for a certain cloud instance. The access to the cloud resources is enabled as long as submitted bid exceeds the current spot price. Cloud provider assigns resources to the bidders in decreasing order of their bids until all available resources have been allocated, or all cloud customers' requests have been satisfied. In this case, spot price is equal to the lowest winning bid.

In this paper, we performe three auction-based mechanisms for pricing cloud idle resources: Uniform price auction, Second-price auction and Third-price auction. We provide a detail comparison of spot prices per billing cycle for each observed scenario and analyze cloud provider's revenue. This paper is organized as follows. After the short introduction, literature review is presented in Section 2. Problem statement with auction setup for three observed scenarios is described in Section 3. Performance evaluation is given in Section 4. Finally, concluding remarks are presented in Section 5.

2. LITERATURE REVIEW

Dynamic forms of cloud pricing mechanisms have been introduced by cloud providers in order to maximize their profits and balance supply and demand of their resources. Therefore, well designed auction mechanisms

can be effective since they support customers for truthful bidding (placing bids that reflect their actual willingness to pay). In addition, they ensure that resources are assigned to the customers that value them the most and provide price variation in line with changes in supply and demand by creating competition among customers, according to (Toosi et al. 2016). Auction aims to optimize the payoff of the participants: cloud providers and cloud customers. Cloud provider's payoff is expressed as revenue maximization in long term while cloud customer's payoff is expressed through the access to the cloud resources with the lowest prices and satisfactory Quality of Service (QoS). Various auction mechanisms can be used for cloud resources allocation and pricing. Second-price auction for computing capacity allocation and pricing is proposed by (Lin et al. 2010), where the concept of the marginal bid is used for prices determination for cloud resources. In this case, marginal bid refers to the highest bid among the unsuccessful bids. Dynamic auction where bidders may require the access to a VM in more than one decision interval is analyzed by (Wang et al. 2010). Auctions over multiple rounds which are coupled together by the overall budget of each customer are observed by (Shi et al. 2016). Online auction for social welfare maximization extended by profit maximization is proposed by (Zhang et al. 2017). Combinatorial auctions are often used for VM pricing and allocation problems in cloud. A combinatorial one-to-many auction is analyzed and compared with fixed pricing mechanisms by (Zaman and Grosu 2013). They proposed two mechanisms based on the combinatorial auctions and proved that these mechanisms have better performances in comparison with fixed pricing mechanisms. VM allocation and pricing as a multi-unit combinatorial auction is proposed by (Wang et al. 2012). A periodical auction mechanism, based on the limited English combinatorial model for allocation of cloud resources is proposed by (Xing-Wei et al. 2012). They use a genetic algorithm with the objectives to maximize the profit of the cloud provider and to reduce customers' requests execution times. A fair multi-attribute combinatorial double auction for allocation and pricing of cloud resources is proposed by (Baranwal and Vidyarthi 2015). In their analysis, additional parameters such as fairness, reputation and imposing of penalty on the providers that make a false QoS assurance in order to win the auction, are included.

In this paper, we apply simulations in order to compare three well known auctions: Uniform price auction, Generalized Second-price auction and Generalized Third-price auction. The aim of the analysis is to choose auction mechanism that maximizes cloud provider's revenue. Analysis is performed into consecutive time slots that coincide with billing cycles. We also observe the incentives of the cloud customer to bid truthfully.

3. PROBLEM STATEMENT

We observe a situation when cloud provider offers its idle resources, i.e. spot instances, in an auction-like manner. The assumption is that all spot instances have the same characteristics in terms of computing and storage performances. Analysis can be easily extended to various types of spot instances. Each cloud customer creates a bid in order to access to the certain spot instance. Bid represents the maximum price per billing cycle that customer is willing to pay for a given spot instance. Without loss of generality, our analysis is executed in N consecutive time slots. Each time slot is equivalent to the provider's billing cycle. The number of the available spot instances varies due to changes in the number of initiated and released reserved and on-demand instances. This largely depends on the demand for cloud resources. Considering that provisioning of customers' requests over cloud resources can be modelled using Poisson distribution with different parameters for high and low traffic load according to (Mikavica and Kostic-Ljubisavljevic 2016), the number of the available spot instances may be modelled by Poisson distribution, as well. In this paper, we assume that number of the available spot instances per time slot is determined by parameters λ_h and λ_l in the periods of high and low traffic load, respectively. Set of the available spot instances during time slot i is denoted as $S^i = \left\{ s_1^i, s_2^i, ..., s_{|S^i|}^i \right\}$. We assume that cloud customers place their bids at the beginning of each time slot. Additionally, we assume that each cloud customer bids for a single spot instance. Considering that sufficient number of the participants in the market is needed in order to achieve revenue maximization in long term by (Baranwal and Vidyarthi 2015), we assume that number of the cloud customers is always greater than the number of the available spot instances. Set of cloud customers' bids in time slot i, $i \in [1, N]$, is denoted as $B^i = \left\{ b_1^i, b_2^i, ..., b_{|B^i|}^i \right\}$, where $b_1^i > b_2^i > ... > b_{|B^i|}^i$. In this paper, the number of bidders is generated randomly.

Cloud customers are not aware of the value for the spot price a priori. However, the prices per billing cycle for equivalent cloud instance under reservation and on-demand pricing mechanism are known in advance and are denoted as p_r and p_o, respectively. Depending on their willingness to pay, customers may perform the following bidding strategies: bidding close to the reserved instance price; bidding close to the on-demand price; and bidding equal or above the on-demand price. These strategies are chosen according to a discrete probability distribution. When cloud customers place bids close to the reservation price, their bids can be represented as $b_j^i \in [p_r - \delta_r, p_r + \delta_r]$, $i \in [1, N]$, $j \in [1, |B^i|]$, where δ_r denotes a small variation of the reservation price per billing cycle. The probability of choosing the first bidding strategy is denoted as $q_1, q_1 \in (0,1)$. Cloud customers' bids under the second bidding strategy can be represented as $b_k^i \in [p_o - \delta_o^l, p_o)$, $i \in [1, N]$, $k \in [1, |B^i|]$, $k \neq j$, where δ_o^l is used to denote the lower bound in variation of the on-demand price per billing cycle. The probability that cloud customers choose the second bidding strategy is denoted as $q_2, q_2 \in (0,1)$. In the situation when cloud customers apply the third bidding strategy, their bids can be represented as $b_l^i \in [p_o, p_o + \delta_o^u]$, $i \in [1, N]$, $l \in [1, |B^i|]$, $l \neq k \neq j$. In this case, δ_o^u indicates the upper bound in variation of the on-demand price per billing cycle. Analogous with the previous bidding strategies, the probability of choosing the third strategy is denoted as $q_3, q_3 \in (0,1)$. It applies that $q_1 + q_2 + q_3 = 1$.

Since all spot instances are allocated to the cloud customers in the first round, we observe multi unit auctions, where $|S|$ highest bids win in the auction. Set of the customers that win in the auction process in time slot *i*, is denoted as $W^i = \left\{ w_1^i, w_2^i, ..., w_{|S^i|}^i \right\}$, $i \in [1, N]$, and set of the corresponding winning bids as $B^{iw} = \left\{ b_1^i, b_2^i, ..., b_{|S^i|}^i \right\}$. In order to get an insight in cloud provider's revenue obtained through auction mechanisms, three scenarios are analyzed.

Scenario 1: the application of the Uniform price auction, where each winning bidder pays the same price which is equal to the lowest winning bid is analyzed. Set of the winning customers payoffs in the time slot *i* is denoted as $P^{iI} = \left\{ p_1^{iI}, p_2^{iI}, ..., p_{|S^i|}^{iI} \right\}$, $i \in [1, N]$. In this scenario, it applies $p_1^{iI} = p_2^{iI} = ... p_{|S^i|}^{iI} = b_{|S^i|}^i$. Hence, cloud provider's revenue under Uniform price auction can be expressed as:

$$R^I = \sum_{i=1}^{N} P^{iI} = \sum_{i=1}^{N} |S^i| \cdot b_{|S^i|}^i \tag{1}$$

Scenario 2: cloud provider applies Generalized Second-price auction where winning bidders pay the next highest bid. Therefore, set of the winning customers payoffs in this scenario for the time slot *i* is denoted as $P^{iII} = \left\{ p_1^{iII}, p_2^{iII}, ..., p_{|S^i|}^{iII} \right\}$, $i \in [1, N]$, where $p_1^{iII} = b_2^i, p_2^{iII} = b_3^i, ..., p_{|S^i|}^{iII} = b_{|S^i+1|}^i$. Cloud provider's revenue is expressed as:

$$R^{II} = \sum_{i=1}^{N} P^{iII} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{m=2}^{|S^i+1|} b_{|S^i+1|}^i \tag{2}$$

Scenario 3: the application of the Generalized Third-price auction is analyzed. The highest winning bid pays the value of the third highest bid; the second highest winning bid pays the amount of the fourth highest bid, and so on. Set of the winning customers payoffs in the time slot *i* is denoted as: $P^{iIII} = \left\{ p_1^{iIII}, p_2^{iIII}, ..., p_{|S^i|}^{iIII} \right\}$, $i \in [1, N]$, where $p_1^{iIII} = b_3^i, p_2^{iIII} = b_4^i, ..., p_{|S^i|}^{iIII} = b_{|S^i+2|}^i$. Therefore, cloud provider's revenue under this auction price mechanism can be expressed as:

$$R^{III} = \sum_{i=1}^{N} P^{iIII} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{m=2}^{|S^i+2|} b^i_{|S^i+2|} \tag{3}$$

4. PERFORMANCE EVALUATION

In order to analyze proposed scenarios, simulations in open source programming language Python 2.7 are performed in 1000 iterations. Time period of $N = 24$ time slots of one hour duration is simulated. Time slots from $i = 7$ up to $i = 20$ belong to the period of high traffic load by (Jiang et al. 2015). In accordance with this, time slots $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ and $i = 21, 22, 23, 24$ constitute period of low traffic load. We assume that cloud provider owns 10 cloud instances in total. The assumed values of the Poisson distribution parameters for the number of the available spot instances in the periods of high and low traffic load are $\lambda_h = 1.5$, $\lambda_l = 4$, respectively. Greater value for parameter λ_l indicates that in the period of high traffic load less cloud resources may be idle and hence, the number of the available spot instances is lower. In order to compare prices per billing cycle properly, Amazon cloud instance *m4.10xlarge* in US east region is chosen as an example. Prices per billing cycle under reservation and on-demand pricing mechanism for given instance are $p_r = 2.996$ \$ per hour and $p_o = 3.84$ \$ per hour, respectively, according to (Amazon 2017). Considering these prices, it is reasonable to assume that values for parameters determining boundaries in bidding for appropriate bidding strategy are: $\delta_r = 0.1 \cdot p_r$; $\delta_o^l = 0.1 \cdot p_o$ and $\delta_o^u = 0.1 \cdot p_o$. Probability that cloud customers choose the third bidding strategy is $q_3 = 0.35$, according to (Karunakaran and Sundarraj 2015). We assume that the first and the second bidding strategy can be chosen with the probabilities $q_1 = 0.25$ and $q_2 = 0.4$, respectively. In each iteration of simulation, we determine the average value of the spot prices per time slot for each observed scenario and compare these results with the average value of the winning bids. The results are shown in Table 1.

Table 1: Average spot prices per time slot

Time slot	Average winning bid	Average spot price Scenario 1	Average spot price Scenario 2	Average spot price Scenario 3
1	4.064	3.966	4.005	3.949
2	4.061	3.963	4.001	3.944
3	4.062	3.961	4.003	3.945
4	4.056	3.952	3.997	3.939
5	4.059	3.956	3.998	3.939
6	4.060	3.957	4.000	3.941
7	4.135	4.107	4.077	4.017
8	4.134	4.106	4.075	4.019
9	4.131	4.103	4.072	4.012
10	4.138	4.109	4.077	4.014
11	4.139	4.111	4.079	4.017
12	4.141	4.113	4.083	4.023
13	4.137	4.108	4.078	4.019
14	4.139	4.113	4.079	4.018
15	4.131	4.104	4.072	4.014
16	4.133	4.106	4.075	4.015
17	4.133	4.107	4.075	4.015
18	4.137	4.110	4.079	4.020
19	4.138	4.112	4.078	4.018
20	4.135	4.107	4.076	4.016
21	4.067	3.967	4.008	3.948
22	4.059	3.956	3.998	3.937
23	4.061	3.958	4.001	3.943
24	4.061	3.959	4.003	3.942

The results show that average spot price per time slot is greater in the period of high traffic load (time slots 7-20). The reason for this is the fact that there are less available spot instances in the period of high traffic load, and hence, greater bids are winning. This applies for all observed scenarios and all time slots. Another important result should be emphasized - in all observed scenarios and each time slot the spot price is greater that on-demand price for corresponding cloud instance. This is mainly affected by possibility of choosing the third bidding strategy, i.e. bidding above corresponding on-demand price in order to prevent spot instance termination. Some cloud providers even recommend this bidding strategy, according to (Karunakaran and Sundarraj 2015). As a consequence, spot prices are increasing. The lowest spot prices in all time slots are provided by Generalized Third-price auction (Scenario 3). Results summarized in Table 1 also indicate that average spot prices in the period of high traffic load under Uniform price auction (Scenario 1) are the nearest to the corresponding average winning bids. Spot prices in the period of low traffic load under Generalized Second-price auction (Scenario 2) are the nearest to the average winning bids in the corresponding time slot. Therefore, in the terms of supporting cloud customers to bid truthfully, there is no general solution.

Cloud provider's average revenues obtained applying three observed scenarios are shown in Figure 1. It can be noticed that Generalized Second-price auction (Scenario 2) assures the greatest revenues for cloud provider. In addition, the difference in revenues under Scenario 1 and Scenario 3 is negligible. Hence, currently applied Uniform price auction is less efficient in comparison with Generalized Second-price auction from revenue maximization perspective.

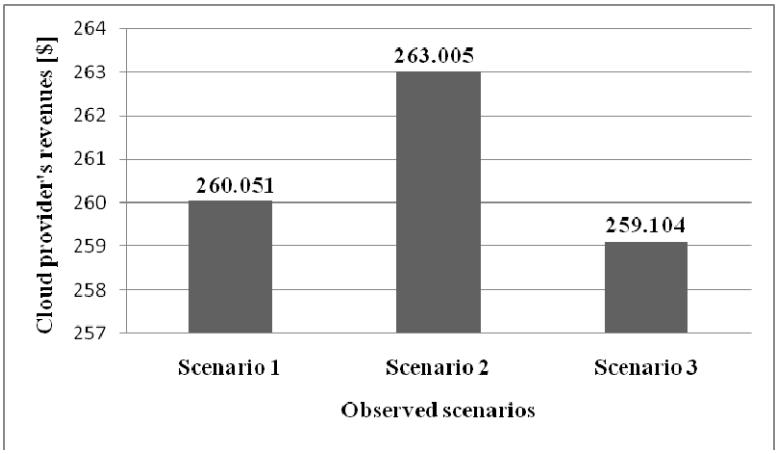


Figure 1. Cloud provider's average revenues

5. CONCLUSION

This paper presents analysis of auction-based pricing mechanisms for pricing cloud provider's idle resources. Uniform price auction, as a widespread method for spot pricing mechanism, is compared with Generalized Second-price auction and Generalized Third-price auction. We observe spot prices and cloud provider's revenue under these pricing mechanisms. In all observed scenarios, cloud customers have chosen one of the three possible bidding strategies: bidding close to the reservation price per billing cycle, bidding close to the on-demand price per billing cycle and bidding equal of higher than on-demand price. In the periods of high traffic load, demand for spot instances increases. There are less available spot instances. Therefore, cloud customers with greater values of bids are forming the set of the winning bids and spot prices are increasing. In accordance with, in the periods of low traffic load, spot prices are lower. Although it is generally accepted that spot prices are lower in comparison with on-demand prices for equivalent instance, our analysis shows that spot prices are always greater that on-demand prices, for each observed scenario. Considering cloud customer's incentives to bid truthfully, Generalized Second-price auction provides nearly optimal solution in the period of low traffic load. In that sense, Uniform price auction provides nearly optimal solution in the period of high traffic load. Analysis of cloud provider's revenue indicates that application of Generalized Second-price auction assures the greatest revenue. However, there is no significant difference in revenues under the observed scenarios. Therefore, we intend to introduce additional parameters in our analysis. Availability and reliability of spot instances are important challenges and they will be the subjects of future research. Determination of cloud customer's optimal bidding strategy in auction mechanism is another challenging issue and it will be addressed in the future.

Acknowledgement

This research was partially funded by a grant (No. TR 32025) from the Ministry of Education, Science and Technological Development of Serbia.

REFERENCES

[1] Amazon EC2. (2017). https://aws.amazon.com/ec2/pricing/reserved-instances/pricing/

[2] Baranwal, G., & Vidyarthi, D. P. (2015). A Fair Multi-Attribute Combinatorial Double Auction Model for Resource Allocation in Cloud Computing. The Journal of Systems and Software, 108, 60-76.

[3] ITU-T Recommendation Y.3500. (2014). Information technology – Cloud computing –Overview and vocabulary.

[4] Jiang, Y., Ma, X., & Chen, W. (2015). Cost-Effective Resource Configuration for Cloud Video Streaming Services. Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), Melbourne, Australia, 430-439.

[5] Karunakaran, S., & Sundarraj, R. P. (2015). Bidding Strategies for Spot Instances in Cloud Computing Markets. IEEE Internet Computing, 19(3), 32-40.

[6] Lin, W.-Y., Lin, G.-Y., & Wei, H.-Y. (2010). Dynamic Auction Mechanism for Cloud Resource Allocation. Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), Melbourne, Australia, 591-592.

[7] Mikavica, B., & Kostic-Ljubisavljevic, A. (2016). Interconnection Contracts between Service and Content Provider with Partial Cloud Migration. Elektronika Ir Elektrotechnika, 22(6), 92-98.

[8] Shi, W., Zhang, L., Wu, C., Li, Z., & Lau, F. C. (2014). An Online Auction Framework for Dynamic Resource Provisioning in Cloud Computing. IEEE/ACM Transactions on Networking, 24(4), 2030-2073.

[9] Toosi, A. N., Vanmechelen, K., Khodadadi, F., & Buyya, R. (2016). An Auction Mechanism for Cloud Spot Markets. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, 11(1), 25-57.

[10] Wang, Q., Ren. K., & Meng, X. (2012). When Cloud Meets eBay: Towards Effective Pricing for Cloud Computing. Proceedings of the IEEE INFOCOM, Orlando, USA, 936-944.

[11] Wang, W., Liang, B., & Li, B. (2013). Revenue Maximization with Dynamic Auctions in IaaS Cloud Markets. Proceedings of the 21th IEEE/ACM International Symposium on Quality of Service (IWQoS), Montreal, Canada, 1-6.

[12] Xing-Wei, W., Xue-Yi, W., & Min,H., (2012). A resource allocation method based on the limited English combinatorial auction under cloud computing environment. Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Chongqing, China, 905-909.

[13] Zaman, S., & Grosu, D. (2013). Combinatorial Auction-Based Allocation of Virtual Machine Instances in Clouds. Journal of Parallel and Distributed Computing, 73(4), 495–508.

[14] Zhang, Q., Gurses, E., & Boutaba, R. (2011). Dynamic Resource Allocation for Spot Markets in Clouds. Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC), Victoria, Australia, 178-185.

[15] Zhang, X., Huang, Z., Wu, C., Li, Z., & Lau, F. C. M. (2017). Online Auctions in IaaS Clouds: Welfare and Profit Maximization with Server Costs. IEEE/ACM Transactions on Networking, 25(2), 1034-1047.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

AIR TRAFFIC ASSIGNMENT TO REDUCE POPULATION NOISE EXPOSURE: AN APPROACH INCORPORATING HUMAN MOBILITY PATTERNS

EMIR GANIĆ[1], OBRAD BABIĆ[1], MIRJANA ČANGALOVIĆ[2], MILAN STANOJEVIĆ[2]

[1] Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade e.ganic@sf.bg.ac.rs; o.babic@sf.bg.ac.rs
[2] Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade canga@fon.rs; milans@fon.rs

Abstract: *Aircraft noise has been considered as one of the major environmental issues related to air transport. Many airports have introduced a variety of measures to reduce its impact. Several air traffic assignment strategies have been proposed in order to allocate noise more wisely. Even though each decision regarding the assignment of aircraft to routes should consider population noise exposure, none of the air traffic assignment strategies addressed daily migrations of the population and the number of people exposed to noise as a decision variable. The aim of this research is to develop a heuristic algorithm that could assign the aircraft to the departure and arrival routes so that the number of people exposed to noise is as low as possible, taking into account the daily mobility patterns of residents living near the airport. The approach was demonstrated on Belgrade airport case study to show the benefits of proposed model.*

Keywords: *airport, noise abatement measure, daily migrations, heuristic.*

1. INTRODUCTION

Aircraft noise imposes various problems to the airports as well as to the communities around them. Not only does it cause the annoyance to the residents living near the airport, but also it has detrimental effects on the airport business. A lot of effort has been put in order to alleviate the noise nuisance. Over the past decades, airports have been implementing various noise abatement measures in accordance with the recommendations of International Civil Aviation Organization (ICAO) (Ganic et al., 2015). In order to reduce the noise, airports often impose measures like (night) curfews or restrictions on flight numbers even though they have a negative influence on demand and airport business. Other measures such as noise preferential runways or noise abatement procedures reduce the noise impact without influencing the airport capacity.

Although most of the measures aim at achieving the total noise load reduction, some of them simply aim at a geographical allocation of the noise that is somehow beneficial for the nearby community (Heblij et al., 2007). One such approach includes noise preferred departure and arrival routes that are designed to avoid highly populated areas. Since it is the responsibility of Air Traffic Control to select runway in use and to assign aircraft to routes, noise allocation as the consequence of such assignment could be achieved only with their cooperation.

Several air traffic assignment strategies have been proposed in order to allocate noise more wisely. Netjasov suggested the model that was based on the categorization of aircraft according to engine type and wake turbulence category and the assignment of specific runways for take-off and landing for each aircraft category (Netjasov, 2008). That model incorporated two basic goals: to increase airport capacity and to reduce the noise level in the airport's surroundings. Heblij et al. developed the Noise Allocation Planning Tool that maintained an equal noise level over a wider area, effectively reducing peak levels (Heblij et al., 2007). Zaporozhets & Tokarev formulated and solved several problems relating minimisation of aircraft noise impact, including a selection of optimum operations around an airport by distributing the aircraft between the routes (Zaporozhets & Tokarev, 1998).

Each decision regarding the assignment of aircraft to routes should consider the number of people that will be exposed to adverse noise levels, especially since it is the noise indicator used in many countries. Following the current practice regarding noise exposure assessment, the number of people exposed to different noise levels, presented in the noise contour maps, has always been calculated based on the population census data. Due to the population daily migration, the number of people at some locations could significantly differ from census data, especially during the time of the day when employees go to work and pupils and student go to the school and faculty.

None of the above-mentioned air traffic assignment strategies addressed these daily migrations and the number of people exposed to noise as a decision variable when it comes to assigning the aircraft to departure and arrival routes.

The idea presented in this paper is to tailor the air traffic assignment to these daily migrations in order to reduce the number of people exposed to noise, by assigning the aircraft to the route that flies over the least populated area at the specific moment. For that purpose, the new noise abatement approach has been proposed including a heuristic algorithm that chooses the preferred air traffic assignment. The approach was demonstrated on Belgrade airport case study to show the benefits of proposed model on real data example.

2. MODEL DEFINITION

The purpose of this model is to describe the process of assignment of aircraft operations to routes. An aircraft operation is here defined as one take-off or landing of some aircraft type according to air traffic schedule. It is important to emphasize that not every operation can be assigned to each route.

2.1. Input data

In order to describe the proposed model for air traffic assignment, the following input data is necessary:

- air traffic data,
- departure and arrival routes for each runway,
- noise data for each location produced by each aircraft flying over routes,
- population data,
- human mobility patterns based on daily migration.

Air traffic data could be provided from Air Traffic Control and it includes the information regarding origin and destination, aircraft type, actual take-off time (ATOT), arrival time, runway in use, operation type (take-off or landing). Departure and arrival routes for each runway could be obtained from Aeronautical Information Publication (AIP) or they could be assumed from radar data.

In order to assess the population noise exposure, it is necessary to choose the locations for which the noise levels will be assessed together with the actual number of people exposed to that noise levels during the observed periods. For the purpose of this research, the level of detail does not require the observation of each housing unit in particular. Due to that, it is sufficient that each settlement is represented by a single point, i.e. location.

For airports that have installed noise monitoring system, noise data could be obtained from noise monitoring stations, which in this case could be treated as locations. Noise data could also be calculated with some noise prediction and mapping software such as Predictor-LimA, SoundPlan, Integrated Noise Model (INM), etc. Calculated noise data has no limitations regarding the number of locations which is one of the advantages of calculations vs measurements.

For each location that the noise data were collected for, it is necessary to have the information regarding the number of people living nearby, based on the population census data.

The next step includes assessment of human mobility patterns based on daily migration. This means that it should be assessed how many people will actually be present at some location during defined period of time by addressing when, where, and how individuals interact with places in metropolitan areas (Jiang et al., 2012). Daily migrations presented in this paper include a special form of spatial mobility of economically active population performing an occupation, of pupils and students. This data could be obtained from National Statistical Office for each municipality around the airport.

2.2. Mathematical model

To formulate this model let us introduce the following notations:

O is a set of operations, $i \in O$;

R is a set of routes, $j \in R$;

Q(i), $i \in O$ is a set of all routes j from R such that operation i can be assigned to route j;

L is a set of locations, $k \in L$;

p_k is population at location k, $k \in L$;

k_k is legal noise limit at location k, $k \in L$;

l_{ijk} is noise level at location k when operation i is assigned to route j, $i \in O, j \in Q(i), k \in L$;

t is the observation time period;

$X = \{x_{ij},\ i \in O, j \in Q(i)\}$;

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & operation\ i \in O\ assigned\ to\ route\ j \in Q(i) \\ 0, & otherwise \end{cases}$;

$N_k(X)$ is average noise level at location *k* for assignment *X* during period *t*, $k \in L$;

$$N_k(X) = 10\log\left(\frac{1}{t} \cdot \left(\sum_{i \in O} \sum_{j \in Q(i)} 10^{\frac{l_{ijk}}{10}} \cdot x_{ij}\right)\right),\ \forall k \tag{1}$$

$P_k(X)$ is population at location *k* weighted by the noise level at location *k* for assignment *X*, $k \in L$;

$$P_k(X) = p_k \cdot 2^{0.1*(N_k(X)-k_k)},\ \forall k \tag{2}$$

$F(X)$ is objective function for assignment *X*;

The problem discussed can be mathematically written in the following way:

$$min\ F(X) = \sum_{k \in L} P_k(X) = \sum_{k \in L} p_k \cdot 2^{0.1*(N_k(X)-k_k)} \tag{3}$$

subject to:

$$\sum_{j \in Q(i)} x_{ij} = 1,\ \forall i \in O \tag{4}$$

Constraint described in Eq.4 indicates that one operation could be assigned to one route only.

2.3. Heuristic algorithm

Since it is known that this kind of assignment problem is NP-hard, it was necessary to use some heuristic algorithm to find the solution that was "good enough" in a reasonable time.

In order to solve this problem, A Modeling Language for Mathematical Programming (AMPL) was used to build optimisation model. AMPL software includes the use of many different solvers for nonlinear programming that could be used to solve this problem. After testing the abilities of each one, the BARON solver (The Branch-And-Reduce Optimization Navigator) has been chosen for this research since it showed the best performance regarding finding the solution in a reasonable time.

BARON implements deterministic global optimisation algorithms of the branch-and-bound type that are guaranteed to provide global optimum under fairly general assumptions (Sahinidis, 2017). This global optimum is only possible to obtain for small-scale problems. For real problems that are large-scale, BARON was used as a heuristic solver, by setting various options that will be explained here.

This could be accomplished with BARON's NumLoc option, which determines the number of local searches to be performed by BARON's preprocessor. BARON can be forced to terminate after preprocessing by setting the number of iterations to 0 through the MaxIter option.

Another BARON option that could be used as a heuristic approach is DeltaTerm. This option requests BARON to terminate if insufficient progress is made over δt consecutive seconds. Progress is measured using the absolute and relative improvement thresholds δa and δr. Termination will occur if, over a period of δt consecutive seconds, the value of the best solution found by BARON is not improved by at least an absolute amount δa or an amount equal to δr times the value of the incumbent at time t − δt. This termination condition is enforced after processing the root node and only after a feasible solution has been obtained. Because it relies on CPU time measurements, which may depend on machine load, this option may result in non-deterministic behaviour.

By default settings, the absolute termination tolerance is 1e-6 and BARON terminates if the absolute difference between the values of the incumbent and best estimate, respectively, for the optimisation problem at the current iteration is equal or lower than this value. Using the option EpsA, the value of absolute termination tolerance could be set to a different value which could reduce the time necessary for the solver to obtain the solution. The optimality of such solution could not be proved, but lower and upper bound could be obtained which could indicate „how far" the optimal solution could be. The similar approach could be used with the option EpsR for relative termination tolerance, where the absolute difference between upper and lower bound should be equal or lower than relative termination tolerance multiplied by the absolute value of lower bound.

By using option CutOff, BARON may ignore parts of the search space that contain solutions that are no better than this value. CutOff can take any real value. This could also be used as a heuristic approach in order to find the solution that is "good enough" in a reasonable time.

All of these options were tested on real data example and the results will be shown in Chapter 4.

3. BELGRADE AIRPORT CASE STUDY

In order to test the proposed model for air traffic assignment, the Belgrade airport Nikola Tesla has been chosen as a case study airport.

Realistic air traffic data was collected for one summer day with relatively heavy traffic (September 16th, 2016). During the observed period, there were 220 operations, including 109 departures and 111 arrivals. The runway 12 was used for 128 operations (58.2%), while the runway 30 was used for the 92 operations (41.8%). Based on the radar data (**Figure 1a**), all trajectories were classified into 27 routes (**Figure 1b**), including 13 departure routes (seven from runway 12 and six from runway 30) and 14 arrival routes (seven from both runways).

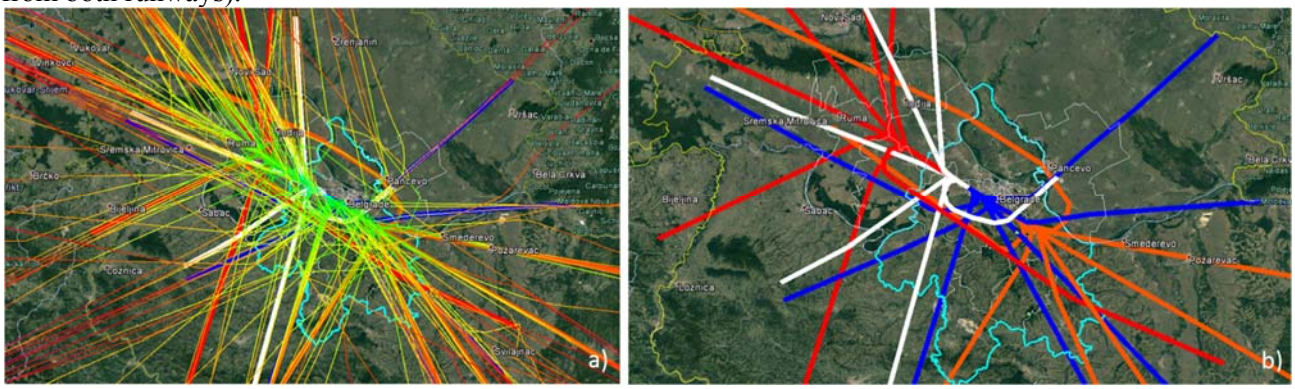


Figure 1. Radar data and departure and arrival routes

Although the observed fleet mix consisted of 22 different aircraft types, for the purpose of this work, they were classified into 11 groups since the sound exposure level (SEL) for some aircraft types differed by less than 1dB at the same location. In this way, 85% of the operations were presented with the aircraft types that were actually flown that day, while the remaining 15% were presented with aircraft types that have approximately the same level of noise exposure as their representative.

Population in the vicinity of the airport that might be exposed to aircraft noise is first considered to be located in the territory of 23 municipalities: 17 Belgrade municipalities, Stara Pazova, Indjija, Irig, Ruma, Pecinci and Pancevo municipality. After calculating the noise exposure for 306 locations at these 23 municipalities for the noisiest scenario, only 17 locations showed significant noise levels (above 60dB L_{den}). These locations were chosen for this case study and they were presented in the table below (**Table 1**).

Table 1. Location and population data

No.	Municipality	Settlement	Legal noise limit (dB)	Population			
				Census	Period 1	Period 2	Period 3
1	Cukarica	Banovo Brdo	55	44669	40098	40790	43978
2	Cukarica	Cerak	55	43993	39492	40172	43312
3	Cukarica	Zarkovo	55	30979	27809	28289	30500
4	Novi Beograd	Bezanijski blokovi	55	22455	22725	22610	22570
5	Novi Beograd	Ledine	55	6813	6895	6860	6848
6	Novi Beograd	Sava	55	18899	19126	19029	18996
7	Rakovica	Kanarevo Brdo	55	11389	9975	10194	11170
8	Rakovica	Kosutnjak	55	4944	4330	4425	4849
9	Rakovica	Miljakovac	55	7622	6676	6822	7476
10	Rakovica	Skojevska	55	4739	4151	4242	4648
11	Surcin	Dobanovci	55	8503	8055	8089	8469
12	Vozdovac	Jajinci	55	8876	8672	8733	8815
13	Vozdovac	Kumodraz	55	6064	5924	5966	6022
14	Vozdovac	Kumodraz 1	55	3852	3763	3790	3826
15	Vozdovac	Rakovica	55	3292	3216	3239	3269
16	Zemun	Ugrinovci	55	10807	10585	10616	10776
17	Stara Pazova	Krnjesevci	55	845	809	813	841
			Total	238741	222301	224679	236365

Population data for each location and each period of time in accordance with human mobility patterns are presented in the table (**Table 1**). To demonstrate the difference in a number of people on the locations between periods, the day has been divided into three-8h periods: Period 1 from 8 am to 4 pm (90 operations), Period 2 from 4 pm to 12 am (79 operations) and Period 3 from 12 am to 8 am (51 operations). This has been done to simulate three-8h working shifts. In order to generate human mobility patterns from the daily migration data obtained from Statistical Office of the Republic of Serbia for each municipality around airport, some general rough assumptions were made: 50% of employees work in first shift, 40% in second, and 10% in night shift, while pupils and students go to school in two shifts (Period 1 and 2) equally. A total number of residents living near these 17 locations based on census data was 238,741.

By using the Integrated Noise Model (INM) software, for each aircraft type in fleet mix, flying over the each route, the sound exposure level (SEL) has been calculated for each location separately.

4. RESULTS

Using BARON's deterministic global optimisation algorithms of the branch-and-bound type we first tried to find optimal solutions for all three periods. However, the global optimum was only proved for Period 3 since the size of the problem for that period was the smallest (51 operations). Using the previously explained heuristic approach, the feasible solutions were found for Period 1 and 2 but global optimum could not be proved. In order to assess the ability of proposed air traffic assignment model to reduce population noise exposure, the calculated air traffic assignment (Heuristic algorithm scenario) was compared to the actual air traffic assignment (Base case scenario). The results are shown in the table below (**Table 2**).

Table 2. Base case scenario/Heuristic algorithm scenario comparison

	Base case scenario							
	Number of people exposed to different noise bands (LAeq8hr)						Number of people annoyed	F(X)
	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	>60		
Period 1	68061	90579	56766	0	6895	0	19650	103541
Period 2	69081	92058	56680	0	6860	0	19503	103506
Period 3	74594	127504	27419	6848	0	0	16187	98999
	Heuristic algorithm scenario							
	Number of people exposed to different noise bands (LAeq8hr)						Number of people annoyed	F(X)
	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	>60		
Period 1	204012	0	809	17480	0	0	4482	58187
Period 2	116399	90804	10616	6860	0	0	9505	78332
Period 3	217900	841	17624	0	0	0	2718	57757

The A-weighted equivalent sound pressure level in dB (LAeq8hr) has been calculated for each period and for each location. The population at locations within the same noise contours was summed and presented in **Table 2** as the number of people exposed to different noise bands. That allows us to clearly compare the results and see that none of the population was exposed to noise higher than 60dB in both scenarios. In addition, the number of people exposed to noise between 55dB and 60dB for Base case scenario was around 6800 for both Period 1 and Period 2, while for the same periods this number was reduced to zero for Heuristic algorithm scenario. Using the formula given by the European Commission (European Commission, 2002) for calculating the noise annoyance from aircraft noise, the number of people annoyed by the aircraft noise has been determined from the LAeq8hr values for each location. From the **Table 2**, it could be seen that both objective function F(X) and a number of people annoyed were significantly lower in case of Heuristic algorithm scenario compared to Base case scenario. The highest absolute reduction in the number of people annoyed was obtained for Period 1 where the value for Base case scenario was 19650 people compared to 4482 people for Heuristic algorithm scenario.

The similar could be seen from the figure below where the noise contours were shown for Base case scenario (**Figure 2a**) and Heuristic algorithm scenario (**Figure 2b**). **Figure 2b** shows that all departing traffic from runway 12 had been assigned to one route that clearly avoids populated areas. By making the right turn after departure from runway 12, noise has been allocated away from the highly populated locations which placed those locations outside of the 40dB noise contours. All departing traffic from runway 30 had been assigned to two routes that are characterised by right turn after departure to avoid populated areas. Similarly, heuristic algorithm suggested two noise-preferred arrival routes for all arriving traffic.

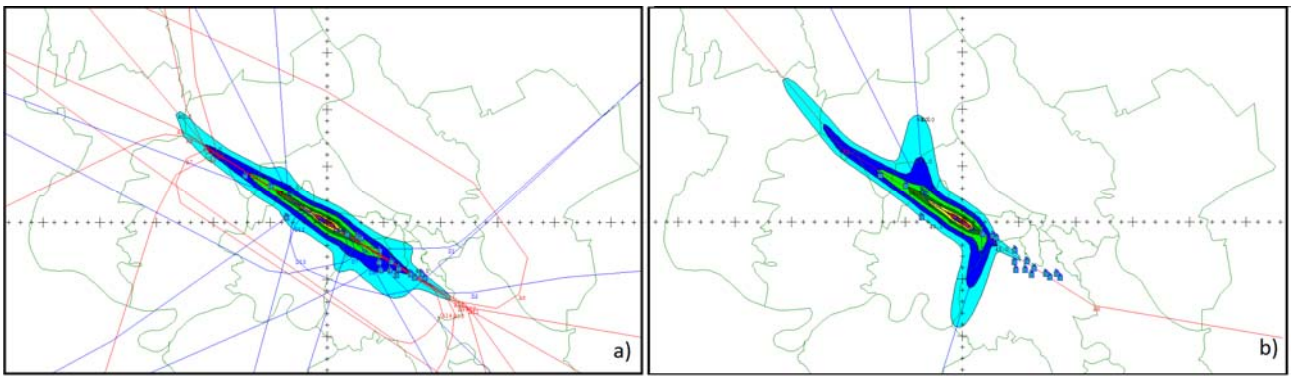


Figure 2. Noise contours for Base case scenario and Heuristic algorithm scenario

5. CONCLUSION AND FURTHER RESEARCH

This study has contributed to the topic of aircraft assignment to the departure and arrival routes by proposing the new approach which incorporates human mobility patterns. Such approach observes population as dynamic input for calculation of a number of people exposed to noise which was not taken into account in the previous research efforts.

It has been shown that population noise exposure could be reduced significantly if air traffic assignment to routes is adjusted to the human mobility patterns. A numerical example for Belgrade airport showed that the number of people annoyed by aircraft noise is less in case of using a Heuristic algorithm (LAeq8hr >55dB, zero population) than for Base case scenario (LAeq8hr >55dB, more than 6800 people exposed) for all observed periods.

Since the solution presented in the Belgrade airport case study suggests that all the traffic should be assigned to a small number of routes, such approach would significantly increase the overall flying time and consequently fuel consumption. Due to that, further research should consider inclusion of fuel consumption into the model in order to find the trade-off between these conflicting goals. Even though vertical and horizontal separation standards to facilitate the safe navigation of aircraft were not included in this model, one of the ideas for further research is to include them as well in order to find the solutions that will be in accordance with safety standards.

Acknowledgement

This research is supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia and represents a part of the project named “A support to sustainable development of the Republic of Serbia's air transport system” (TR36033). The authors would like to thank the Statistical Office of the Republic of Serbia for providing the data regarding daily migration.

REFERENCES

[1] European Commission. (2002). Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance.

[2] Ganic, E., Netjasov, F., & Babic, O. (2015). Analysis of noise abatement measures on European airports. Applied Acoustics, 92, 115–123. http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.010

[3] Heblij, S. J., Hanenburg, V., Wijnen, R. A. A., & Visser, H. G. (2007). Development of a Noise Allocation Planning Tool. In 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (pp. 1–7). Reno, Nevada: American Institute of Aeronautics and Astronautics. http://doi.org/10.2514/6.2007-1335

[4] Jiang, S., Ferreira, J., & González, M. C. (2012). Clustering daily patterns of human activities in the city. Data Mining and Knowledge Discovery, 25(3), 478–510. http://doi.org/10.1007/s10618-012-0264-z

[5] Netjasov, F. (2008). A Model of Air Traffic Assignment as a Measure for Mitigating Noise at Airports: The Zurich Airport Case. Transportation Planning and Technology, 31(5), 487–508. http://doi.org/10.1080/03081060802364448

[6] Sahinidis, N. V. (2017). BARON 17.4.1: Global Optimization of Mixed-Integer Nonlinear Programs, User’s manual.

[7] Zaporozhets, O. I., & Tokarev, V. I. (1998). Predicted flight procedures for minimum noise impact. Applied Acoustics, 55(2), 129–143. http://doi.org/10.1016/S0003-682X(97)00108-4

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

UPRAVLJANJE PREZASIĆENOM RASRSNICOM U REALNOM VREMENU - PRISTUP FAZI LOGIKOM

CONTROL OF OVERSATURATED INTERSECTION IN REAL TIME - FUZZY LOGIC APPROACH

KATARINA KUKIĆ[1], ALEKSANDAR JOVANOVIĆ[2]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, k.mijailovic@sf.bg.ac.rs
[2] Visoka inženjerska škola strukovnih studija „Tehnikum Taurunum“, Zemun, caki1987@gmail.com

Rezime: *U ovom radu razmatran je problem upravljanja izolovanom semaforisanom raskrsnicom u realnom vremenu. Razvijen je matematički model za rešavanje predmetnog problema koji je baziran na fazi logici. Model se odnosi samo na raskrsnicu koju karakterišu izrazito prezasićeni saobraćajni tokovi. Pristup predmetnom problemu, razvijen u ovom radu, je poređen sa rešenjima koja su dobijena u fiksnom režimu upravljanja prezasićenim tokovima. Testiranje na primeru "T" raskrsnice je pokazalo da model razvijen u ovom radu daje bolja rešenja od onih koja su dobijena klasičnim pristupom.*

Ključne reči: *Izolovana signalisana raskrsnica, prezasićeni saobraćajni tokovi, fazi logika, upravljanje u realnom vremenu, vremenski gubici vozila.*

Abstract: *This paper deals with the problem of controling the isolated intersections in real time. A mathematical model for solving problem is based on the fuzzy logic. The model refers only to the intersections characterized by extremely oversaturated traffic flows. The way of solving the problem, in this paper, is compared with the solutions proposed by the "fixed time" strategy for oversaturated condictions. Testing for the "T" intersection showed that the model developed in this paper provides a better solution than those obtained by an conventional approach.*

Keywords: *Isolated signalized intersections, oversaturated traffic flows, fuzzy logic, real time control, vehicle control delay.*

1. UVOD

U ovom radu autori su razmatrali problem upravljanja izolovonom signalisanom raskrsnicom na kojoj vladaju prezasićeni tokovi. Razvijen je model za upravljanje prezasićenom raskrsnicom u čijoj osnovi leži fazi logički sistem "Sugeno" tipa. Kriterijumsku funkciju predstavljaju ukupni vremenski gubici vozila u određenom periodu analize. Izvršeno je poređenje predloženog modela i fiksnog režima upravljanja u odnosu na vrednosti kriterijumske funkcije koje su generisane. Kao metoda za poređenje korišćen je simulacioni pristup.

Podaci o saobraćajnim protocima dobijeni su sa detektora. Razmatran je slučaj kada je raskrsnica prezasićena u svim tokovima koje opslužuje ("full oversaturated intersecion"). Ovakav slučaj je moguć u centralnim zonama velikih gradova, naročito u vršnim periodima saobraćajnog opterećenja.

Za upravljanje u realnom vremenu karakteristična je podela vremena na male intervale, 2 do 5 sekundi, posle kojih se donosi odluka o tome da li produžiti postojeću fazu ili je prekinuti. Ovakav način upravljanja je karakterističan za sledeće radove (Miller 1963, Bang 1976, Li *et al.* 1987). Postoje i pristupi gde je vreme odluke duže i za njih je karakteristična predikcija signalnih planova za buduće saobraćajne tokove (Gartner 1983).

Od kako su Pappis and Mamdani (1977) objavili rad u kome se raskrsnicom, koju čine dve jednosmerne ulice, upravlja pomoću fazi logike, raste interes saobraćajnih inženjera za primenu ovakvog načina upravljanja (Li and Prevedouros 2004, Murat and Gedizlioglu 2005, Murat 2006, Yang *et al.* 2006, Nair and Cai 2007, Zhang *et al.* 2008, Soh *et al.* 2010, Diaz-Cabrera *et al.* 2015).

Ovaj rad je organizovan na sledeći način: Posle uvodnih razmatranja drugo poglavlje je posvećeno postavci problema i ciljevima ovog rada. U trećem poglavlju data je metodologija rešavanja problema bazirana na fazi logičkom sistemu. U četvrtom poglavlju predloženi pristup je testiran na primeru "T"

raskrsnice. Primenjena je simulacija za poređenje rezultata koji su dobijeni klasičnim pristupom i metodologijom predloženom u ovom radu. Peto poglavlje je posvećeno zaključnim razmatranjima i pravcima budućih istraživanja.

2. POSTAVKA PROBLEMA I CILJEVI RADA

Ovaj rad razmatra raskrsnicu koja ima prezasićene saobraćajne tokove u svim fazama koje opslužuje. Ovakva raskrsnica naziva se potpuno prezasićena raskrsnica i razlikuje se od one u radu Zhang *et al.* (2008), gde je razmatrana raskrsnica sa dva prezasićena toka koja su u međusobnom konfliktu.

U radu Zhang *et al.* (2008) autori su poredili fazi logičko upravljanje sa klasičnim detektorskim upravljanjem. Kada je raskrsnica prezasićena praktično u svim tokovima, preporučuje se upravljanje u fiksnom režimu jer ono daje iste signalne planove kao i klasično detektorsko upravljanje (Roess *et al.* (2011)).

Fazi logika je pogodna za upravljanje prezasićenom izolovanom raskrsnicom iz razloga što je u mogućnosti da imitira "idealnog" policajca na raskrsnici. Takav policajac ne broji vozila, već po osećaju zna kada je pustio dovoljno vozila sa jednog prilaza dok mu se vozila nagomilavaju na drugom prilazu.

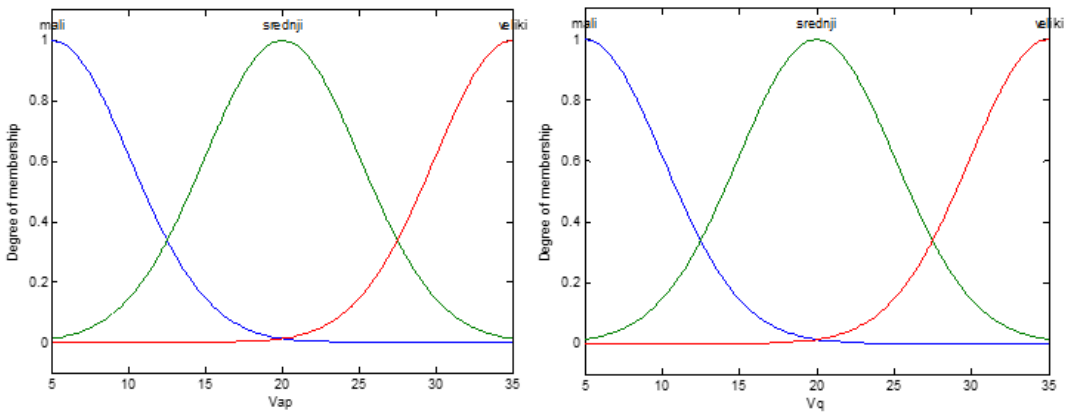
Cilj ovog istraživanja je da pokaze da fazi logika može da bude konkurentna u odnosu na klasičan pristup, u uslovima potpune prezasićenosti. Šta više, koristeći se neravnomernostima nailazaka vozila tokom perioda analize, fazi logički sistem pokušava da iznađe bolje signalne planove od fiksnog režima upravljanja. Mera kvaliteta dobijenih signalnih planova (vrednosti ciklusa i zelenih vremena po fazama) su vremenski gubici vozila.

3. METODOLOGIJA

Fazi logički kontroler, razvijen u ovom radu, upravlja redovima vozila na osnovu dva ulazna i jednog izlaznog fazi skupa. Prvi ulazni fazi skup predstavlja broj vozila u redu koji se opslužuje tokom trajanja zelenog vremena faze ($\mathbf{V_{ap}}$). Drugi ulazni fazi logički skup predstavlja broj vozila u redu koji čeka zeleno vreme sledeće faze ($\mathbf{V_q}$). Fazi logički skupovi prikazani su na slici 1. Ulazne fazi skupove čine po 3 funkcije pripadnosti predstavljene Gausovim krivama: mali, srednji i veliki red vozila. Granične vrednosti za broj vozila u redu, koje su date na slici 1., mogu se menjati u zavisnosti od konkretne raskrsnice.

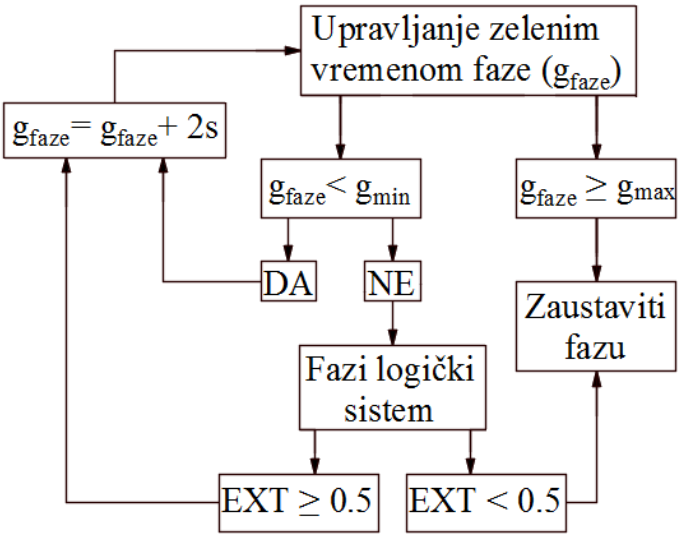
Razvijeni fazi logički sistem je "Sugeno" tipa i određuje na svake 2 s da li se produžuje postojeća faza, ili se prekida (**EXT**). Izlaznu veličinu čine dva broja: 1 ukoliko se faza produžuje za još 2 s, i 0 ukoliko se faza prekida.

Svaka faza ima svoje minimalno zeleno vreme (g_{min}) i maksimalno zeleno vreme (g_{max}). Minimalno zeleno vreme se određuje na osnovu udaljenosti detektora od stop linije. Više detalja oko određivanja minimalnog zelenog vremena faze moguće je naći u knjizi (Roess i ostali 2011). Maksimalno zeleno vreme je određeno optimizacijom u slučaju upravljanja u fiksnom režimu rada. Više detalja oko optimizacije pri fiksnom režimu upravljanja moguće je naći u radu Jovanović and Teodorović (2017).



Slika 1: Ulazne veličine fazi logičkog sistema

Vrednost **EXT** uzima opseg od 0 do 1. Ukoliko je **EXT** vrednost veća ili jednaka 0.5 faza se produžuje, ukoliko je manja od 0.5 postojeća faza se prekida. Dakle, svaka faza može biti prekinuta ili odlukom fazi logičkog sistema ili ako je dostigla svoje maksimalno zeleno vreme.Algoritam na osnovu kog se odlučuje o produžetku ili prekidanju faze dat je na slici 2.



Napomena: Na početku algoritma $g_{faze} = 0$ s

Slika 2: Algoritam za upravljanje zelenim vremenom faze

Razvijeni model ne predviđa preskakanje faza, kao ni izbor između više faza kojima će biti dodeljeno zelene vreme. Sa obzirom na predmet izučavanja ovog rada (prezasićena raskrsnica u svim fazama), ovakve promene u algoritmu ne bi doneli do značajnih poboljšanja vrednosti ukupnih vremenskih gubitaka.

Fazi logički sistem se formira na bazi "If-Then" fazi pravila (tabela 1.). U ovom slučaju "Then" deo pravila je binarna odluka o tome da li produžiti fazu za još dve sekunde ili je prekinuti.

Tabela 1: Baza fazi pravila

Redni broj	if $\mathbf{V_{ap}}$ (voz) is	and $\mathbf{V_q}$ (voz) is	then **EXT** is	Težinski faktor
1.	mali	mali	1	0.8
2.	mali	srednji	0	0.8
3.	mali	veliki	0	1
4.	srednji	mali	1	1
5.	srednji	srednji	1	0.6
6.	srednji	veliki	0	0.8
7.	veliki	mali	1	1
8.	veliki	srednji	1	0.8
9.	veliki	veliki	0	0.6

EXT se dobija defazifikacijom, koja predstavlja poslednji korak predložene metodologije. Defazifikacija, kao i fazi logučki sistem, je izveden u programskoj paketu "MATLAB" 2010, odnosno u njegovom "Toolbox"u pod nazivom "FIS Editor".

4. TEST PRIMER

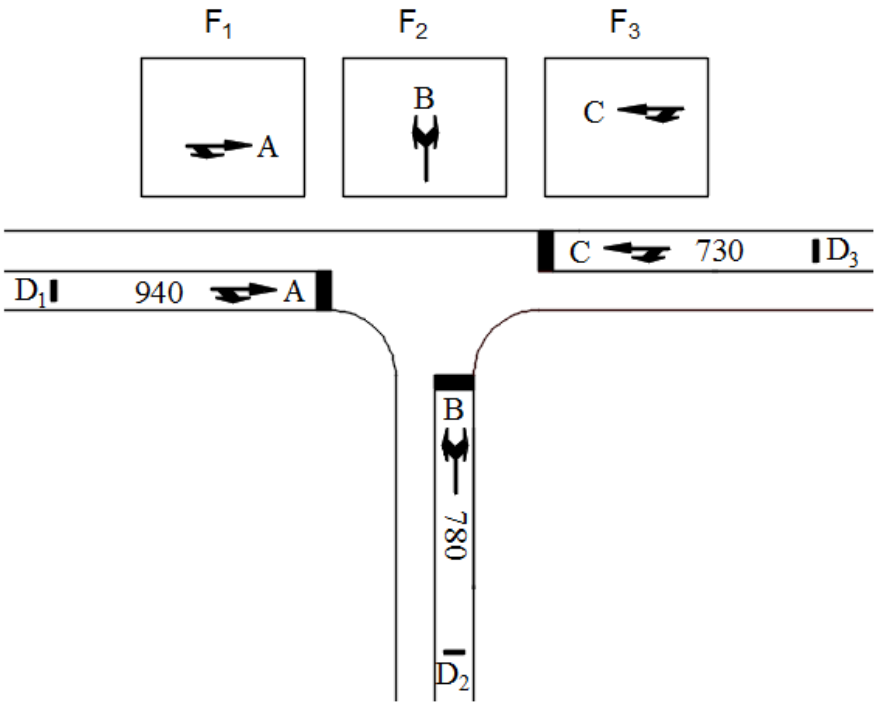
Kao test primer uzeta je hipotetička "T" raskrsnica. Opsluživanje tokova se vrši tako što svaki prilaz ima svoju fazu. Raskrsnica je u punom režimu rada, sa po jednom saobraćajnom trakom na svakom prilazu. Detektori su postavljeni na dovoljnoj udaljenosti od stop linije kako bi mogli da izbroje sva vozila koja čine red na prilazima.

Na slici 3. prikazana je test raskrsnica sa rasporedom tokova po fazama. Na slici su dati saobraćajni tokovi po trakama (voz/h). Zaštitno vreme između svih faza je 2 s, u okviru kojih detektor šalje podatak o tome da li se redu priključilo novo vozilo ili nije.

Na svake 2 s detektor šalje binarnu informaciju fazi logičkom kontroloru u vidu 0 (nema novog vozila) ili 1 (pojavilo se tačno 1 vozilo). Takođe, predviđeno je vreme od 2 s za opsluživanje vozila (kada ono napušta stop liniju). Ovako postavljenom logikom na svake 2 s red vozila se ažurira na svakom od prilaza raskrsnice, bilo da red ima zeleno vreme ili čeka na opsluživanje.

Na osnovu optimizacije dobijeno je rešenje koje zadovoljava minimalnu vrednost vremenskih gubitaka. Ovo rešenje podrazumeva upravljanje u fiksnom režimu. Ujedno, zelena vremena faza dobijena na ovaj način predstavljaju maksimalna zelena vremena u upravljanju u realnom vremenu. Rešenje daje vrednost

ciklusa od 120 s i vrednost zelenog vremena od 40 s, 38 s i 36 s, respektivno po fazama. Minimalno zeleno vreme za sve faze je usvojeno na 10 s. Ukupno izgubljeno vreme tokom ciklusa iznosi 6 s.



Slika 3: Test raskrsnica

Fazi logički kontrolor koristi neravnomernosti nailazaka vozila tokom ciklusa. U prilogu je dat raspored nailaza vozila tokom 10 minuta. Nailazak vozila je generisan na slučajan način. Rešenja koja nudi model razvijen u ovom radu su prikazana u formi: C; g_{1faze}, g_{2faze}, g_{3faze}. Dobijena su sledeća rešenja: 1) 72; 18, 38, 10. 2) 100; 36, 28, 30. 3) 68; 14, 38, 10. 4) 46; 10, 20, 10. 5) 120; 40, 38, 36. 6) 112; 40, 30, 36. U poslednjem, sedmom ciklusu, faza 3 nije ispitana do kraja jer je istekao period analize, koji je iznosio 10 min. Dobijena su vremena za fazu 1 i 2 od 40 s i 10 s, respektivno, dok je prekinuta faza 3 iznosila 28 s. U ovom slučaju se može zaključiti da je nepotpuni ciklus iznosio 82 s, uz izgubljeno vreme tokom ciklusa od 4 s.

4.1. Simulacija

U cilju ispitivanja performansi dobijenih rešenja razvijen je simulacioni model koji proračunava vremenske gubitke vozila. Osnovni geometrijski model na kome se zasniva proračun vremenskih gubitaka vozila, dat od strane (Akçelik 1980), važi uz pretpostavku da je intenzitet nailazaka vozila tokom ciklusa konstantan. U okviru razvijene simulacije, u ovom radu, protoci vozila se razlikuju od faze do faze, što približnije oslikava realnu sliku na raskrsnici.

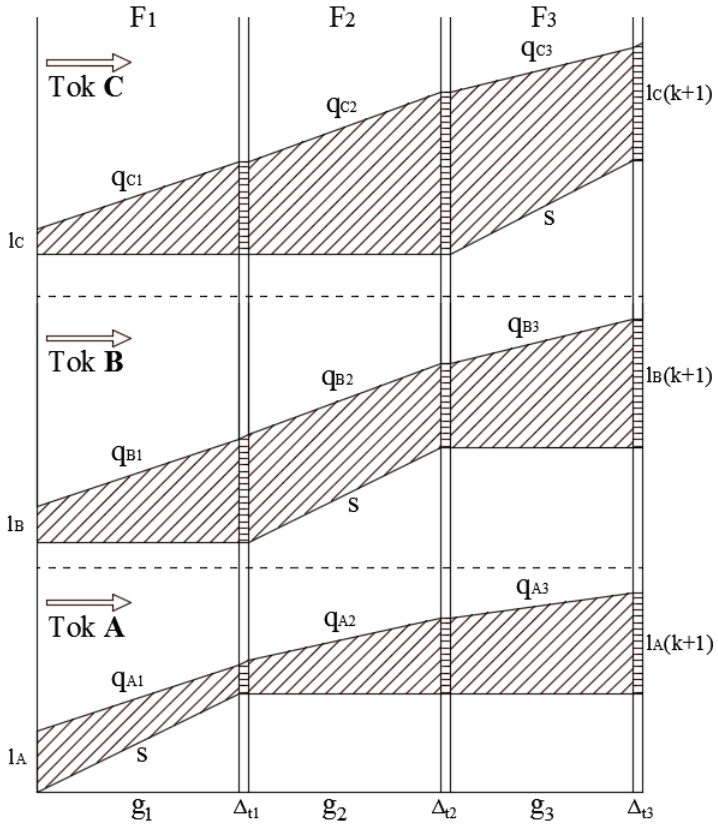
U razmatranom primeru vozila se opslužuju sa tri faze, gde postoje inicijalni redovi neopsluženih vozila iz prethodnog ciklusa. Ukupni vremenski gubici tokom *k*-tog ciklusa dobijaju se proračunom površine šrafiranih delova na slici 4.

Ukupni vremenski gubici po ciklu su podeljeni po tokovima vozila (*A*, *B* i *C* sa slike 4.). Oni se računaju kao zbir površina šrafiranih delova na slici 4.

Sa *q* je označen broj vozila koja nailaze u određenim fazama. Sa *l* je označen broj vozila na početku i na kraju određenih faza, kao i pre početka i na kraju ciklusa. Slovom *F* su označene faze, dok je sa *g* označeno zeleno vreme tih faza. Malo slovo *s* predstavlja maksimalan broj vozila koji možeda se opsluži u okviru jedne faze.

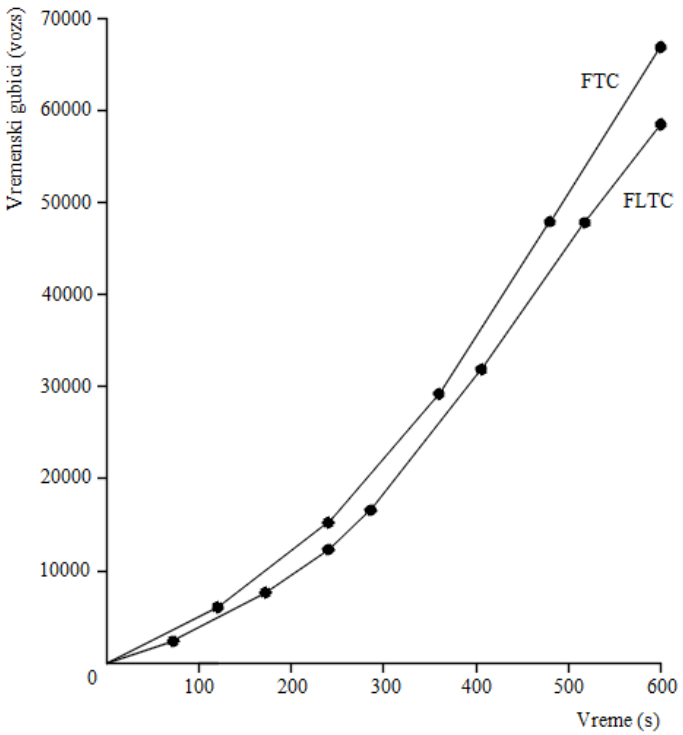
U predloženoj simulaciji razmatran je slučaj kada je *s* konstantno i jednako ½ za svaki tok vozila. Kalibracija modela je moguća i za različite vrednosti *s*-a.

Nakon završetka jedne faze ne prelazi se istovremeno na sledeću, već postoji i zaštino vreme Δt. U okviru ovog vremena detektor može da registruje novo vozilo.



Slika 4: Proračun vremenskih gubitaka tokom k-tog ciklusa

Za podatke predstavljenje na početku četvrtog poglavlja, generisani su ukupni vremenski gubici vozila u slučaju upravljanja u fiksnom režimu (*FTC*) i kada se upravlja pomoću fazi logičkog kontrolora (*FLTC*). Vrednosti tokom 10 minuta simulacije prikazani su na slici 5.



Slika 5: Rezultati simulacije

Posle 10 minuta simulacije vremnski gubici vozila u slučaju *FTC* upavljanja iznosili su 66 853 s, dok su u slučaju *FLTC* upravljanja iznosili 58 468 s. Fazi logika je dala bolje rezultate za 8 385 s, ili za 12.54 %. Ukoliko se rezultati svedu na prosečne vremenske gubitke, fazi logika je dala bolje rezultate za 21 s/voz.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu razvijen je fazi logički model Sugeno tipa za upravljanje izolovanom signalisnom raskrsnicom u realnom vremenu. Raskrsnica je prezasićena, tako da postoje neopsluženi redovi vozila na kraju ciklusa u svim trakama (potpuno prezasićena raskrsnica).

Koristeći neravnomernosti u nailasku vozila fazi logički kontrolor uspeva da generiše različite vrednosti ciklusa i zelenih vremena po fazama. Vrednosti vremenskih gubitaka, testirani na numeričkom primeru, su manji za 12.54 % kod upravljanja fazi logikom u odnosu na upravljanje u fiksnom režimu.

Pravci budućih istraživanja bi mogli da idu u smeru primene predloženog modela na koordinisan rad svetlosnih signala, kao za linijsku tako i za zonsku koordinaciju.

LITERATURA

[1] Akçelik, R. (1980). Time-dependent expressions for delay, stop rate and queue length at traffic signals.

[2] Bang, K-L. (1976). Optimal control of isolated traffic signals. Traffic Engineering and Control, 17(7), 288–292.

[3] Diaz-Cabrera, M., Cerri, P. and Medici, P. (2015). Robust real-time traffic light detection and distance estimation using a single camera. Expert Systems with Applications, 42(8), 3911-3923.

[4] Gartner, N.H. (1983). OPAC: a demand-responsive strategy for traffic signal control. Transportation Research Record 906, 75–81.

[5] Jovanović, A. and Teodorović, D. (2017). Pre-timed control for an under-saturated and over-saturated isolated intersection: a bee colony optimization approach. Transportation Planning and Technology, 40(5), 556-576.

[6] Jacques, M.A.P., Niitymaki, J. and Pursula, M. (2002). Analyzing different fuzzy traffic signal controllers for isolated intersections. In Transportation Research Board 81st Annual Meeting.

[7] Li, H. and Prevedouros, P.D. (2004). Traffic adaptive control for oversaturated isolated intersections: model development and simulation testing. Journal of Transportation Engineering, 130(5), 594-601.

[8] Lin, F.B., Cooke, D.J., Vijayakumar, S. (1987). Use of predicted vehicle arrival information for adaptive signal control – an assessment. Transportation Research Record, 1112, 89–98.

[9] Miller, A.J. (1963). A computer control system for traffic networks. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on the Theory of Traffic Flow, London, pp. 200–220.

[10] Murat, S. and Gedizlioglu, E. (2005). A fuzzy logic multi-phased signal control model for isolated junctions. Transportation Research Part C, 13(1), 19-36.

[11] Murat, S. (2006). Comparison of fuzzy logic and artificial neural networks approaches in vehicle delay modeling. Transportation Research Part C, 14(5), 316-334.

[12] Nair, B.M. and Cai, J. (2007). A fuzzy logic controller for isolated signalized intersection with traffic abnormality considered. In 2007 IEEE intelligent vehicles symposium (pp. 1229-1233). IEEE.

[13] Pappis, C.P. and Mamdani, E.H. (1977). A fuzzy logic controller for a trafc junction. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 7(10), 707-717.

[14] Roess, R.P., Prassas, E. and McShane, W.R. (2011). Traffic engineering. (4th ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

[15] Soh, A.C., Rhung, L.G. and Sarkan, H.M. (2010). MATLAB simulation of fuzzy traffic controller for multilane isolated intersection. International Journal on Computer Science and Engineering, 2(4), 924-933.

[16] Yang, Z., et al. (2006). Multi-phase traffic signal control for isolated intersections based on genetic fuzzy logic. In 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (Vol. 1, pp. 3391-3395).

[17] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 8, 338-353.

[18] Zhang, L., Li, H. and Prevedouros, P.D. (2008). Signal control for oversaturated intersections using fuzzy logic. In Transportation and Development Innovative Best Practices 2008 (pp. 179-184).

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

AIRLINE REVENUE MANAGEMENT FOR COMPLEX NETWORKS

TIJANA LEVAJKOVIĆ[1], DANICA BABIĆ[2], MILICA KALIĆ[3]

[1] University of Innsbruck, Faculty of Mathematics, Computer Science and Physics
[2] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, d.babic@sf.bg.ac.rs
[3] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, m.kalic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *A seat in an aircraft of a certain airline company is a perishable good. All tickets that are left unsold before the departure of an aircraft increase the costs and reduce the revenue of the airline company. The mathematical model proposed in this research attempts to determine optimal seat allocations according to the stochastic demand on each flight leg with respect to different O&D passengers' itineraries. The proposed model uses the Generalized Poisson distribution to model the demand as a stochastic process. Network effects are taken into account. It is assumed that there are different classes of fare prices appearing within both business and economy fare classes. The airline revenue is maximized not only on one flight leg but over the entire network.*

Keywords: *revenue management, airline network, seat allocation, the expected revenue model.*

1. INTRODUCTION

Selling the right ticket to the right passenger at the right moment and for the right price is crucial for the airline revenue management (RM) in liberalized market. All seats that are left unsold, before the departure of an aircraft, cannot be returned and resold after the departure. Thus, the unsold seats increase the costs and reduce the revenue of a certain airline company. Besides the number of seats sold, the revenue of the airline also depends on the seat prices. Although charging all the seats in an aircraft with the lowest price might result in fully-booked cabins, it does not necessarily imply the highest airline revenue. It might happen that the highest revenue is achieved with lower load factor and higher prices. The revenue management systems (RMS) is a very important strategic tool when maximizing the revenue of the airline. The revenue is maximized with respect to a set of constraints imposed by an aircraft capacity. The goal is to optimize the number of seats to be sold before each departure in order to achieve maximal revenue.

Thus, the RM comprises pricing strategy and seat inventory control. Pricing strategy is used by full service airlines in order to maximize their revenue and market share in the period after the deregulation. The result of pricing is the number and the type of different fares that will be offered in the market. The fare levels vary from high to low fares, i.e. range from the full to the lowest discounted fares. When offering the lowest fare, the full-service airlines have opportunity to compete in the market with low-cost airlines. The following important question related to this problem arises in the seat inventory control process. How many low-fare seats the airline should reserve for sale, i.e. how many seats it should protect for higher-yield sales? The purpose is to determine the number of seats that will be allocated in each of the defined fare classes in order to maximize the total revenue. By assuming that the prices (driven by costs, customers' value and competitive reasons) are set, the problem of the RM is mostly reduced to the seat inventory control problem. Basically, it is a probabilistic problem, because of the uncertain number of passengers' requests for certain flight, route and fare class. Another challenge in solving the seat allocation problem comes from the nested seat allocation. It means that a booking limit is assigned for each fare class. The booking limit of a certain class is the sum of the number of seats assigned to the fare class (known as the fare class bucket) and the number of all seats in its lower fare classes. The request will not be denied when booking reach the allocation for the particular fare class as long as there are free seats in any lower fare class.

There is a wide literature devoted to the study of the described RM problem, providing a large set of different approaches. Solution methods for the seat inventory control problem can be distinguished between single-leg and network-seat inventory control approaches. Furthermore, the methods can be also grouped as static and dynamic ones. The first group of methods includes the one in which the problem is solved for multiple fare classes on a single itinerary with assumption that the passenger demand does not vary with time to departure, known as static seat inventory problems (Belobaba, 1987, 1989; Curry, 1990; Brumelle and McGill, 1993; Popović and Teodorović, 1997). Dynamic seat inventory solutions provide methods for

monitoring the state of the booking process over time and the decision whether to accept or reject a particular booking request when it arrives, taking into account the current situation of the booking process (Lee and Hersh, 1993; Kleywegt and Papastavrou, 2001; Feng and Xiao, 2006).

A more complex approach in determining seat allocation is to optimize the complete network of flight legs offered by the airline. Then the seat inventory is controlled by passenger itinerary taking into account the interaction between the flight legs, (Williamson, 1992; Bront et al., 2009). Network seat allocation control is applied on the hub-and-spoke networks since they are designed to channel traffic over their hubs and thus, on each flight there would be passengers with different O&D itineraries. The revenue from the network is the sum of the revenues from each itinerary. The problem is to maximize the airline revenue on the whole network by combining the local and connecting traffic on each flight (giving priority to the higher-revenue connecting passengers over local passengers).

So far in the literature, the number of reservations made during a certain period of time was considered to be a random variable, either with the Poisson distribution (discrete) or with the Gaussian distribution (continuous). Here we generalize this idea. In this research we present an original model for airline RM. The main contribution in this paper is that the proposed model uses the Generalized Poisson distribution (GPD) to model the demand as a stochastic process. The objective of this paper is to develop a general procedure for maximizing the expected revenue on a single-leg flight which could be further applied to the maximization revenue problem on entire network. This approach is based on assumption of a continuous stochastic demand function. Furthermore, we want to incorporate the GPD of the demand into the RM model which will be applicable on multiple fare classes on the airline network, in a nested reservation system. Thus, the proposed model can be easily adjusted for different Poisson distributions.

2. MODEL DESCRIPTION

The problem of the seat inventory control studied in this paper is twofold. First, the problem is considered on a single flight leg and then it is treated on whole network. The main assumptions are: a) passengers are offered multiclass fares, b) the reservation system is with nested fare classes, c) the fare classes within each nest are arranged by fare values listed in decreasing order, ordered from the highest to the lowest fare values, d) the demand for each fare class is stochastic, e) demands per fare classes are mutually independent, f) overbooking and cancelations of booking are not considered, g) a denied request for a particular fare class is treated as the airline's revenue lost (a passenger whose request was denied is not allowed to buy a ticket in a higher fare class) and h) all booking requests for lower values fare classes arrive earlier than requests for the corresponding higher values fare classes.

The number of booking reservations that are made is a function of the remaining time to the departure of an aircraft. As mentioned before, the demand for each fare class is stochastic, i.e. it is a random variable whose law is given by the probability distribution function (in discrete case) and the density (in continuous case). In the literature, the demand function for a flight is commonly assumed to be modeled by either the Gaussian (normal) or the Poisson distribution (Lee and Hersh, 1993; Popović and Teodorović, 1997; Feng and Xiao, 2006). In this paper, a more general class of random variables is considered. Clearly, the general form of random variables is considered. As an example, we assume that the demand for each fare class follows the GPD. There is a wide literature justifying the assumption that the number of reservations made during a certain period of time is a random variable with the Poisson distribution. The Poisson distribution depends on a single parameter λ, which can be interpreted as the occurrence rate of the events that are counted in models related to the counted processes. The parameter λ is also equals the mean and the variance of the Poisson distribution. By using the GPD instead of the Poisson distribution we attempt to describe the situation when for a relatively long observation period (e.g. 30 days before the departure), the reservations occur rarely in short time intervals. The probability of occurrence of a single reservation in a short time interval does not remain constant like in the case with Poisson distribution, but is affected by previous occurrences. The GPD depends on two parameters λ and α, that generalize the Poisson distribution in a flexible way. The additional parameter α reflects a loss of the homogeneity property of the stochastic processes that are modeled by the GPS. For example, by varying the parameter α, one can adjust the occurrence rate in models related to the counted processes. For more details on GPD we refer to Consul and Jain, 1973; Consul, 1988; Chandra *et al.*, 2013.

Let C denotes the seat capacity in an aircraft, n the number of different fare classes and i the corresponding fare class index, $1 \leq i \leq n$. The fare classes are ordered from the highest fare class f_1 (indexed by $i=1$) to the lowest fare class f_n (indexed by $i=n$), i.e. it holds $f_1 > f_2 > \ldots > f_n$. The variables x_i, for $1 \leq i \leq n$ denote the number of seats allocated to the ith class. We denote by r_i the number of requests, i.e. booking reservations, in the fare class i. It is assumed that r_i, for each $1 \leq i \leq n$, is a random variable, that takes only

non-negative values and follows the probability distribution $p(r_i)$ or has the density g_i. Moreover, for $i \neq j$ the random variables r_i and r_j are independent. As an example, we will assume that r_i follows the GPD with two parameters $\lambda>0$ and $0 \leq \alpha < 1$ where the probability distribution is of the form $P(r_i = k) = p_i(k, \lambda, \alpha) = 1/(k!) \cdot \lambda(\lambda + ka)^{k-1} e^{-\lambda - ka}$, for $k \in N_0$. Also, it holds $\sum_{k=0}^{\infty} p_i(k, \lambda, \alpha) = 1$. We note here that for $\alpha=0$ the GPD reduces to the usual Poisson distribution. The mean is $\lambda/(1-\alpha)$ and the variance $\lambda/(1-\alpha)^3$. The probability distribution function of r_i is $F(x)=P(r_i \leq x)$ for all $x \in N_0$. Then, the probability of selling x seats in the fare class i is given by

$$P(r_i \geq x) = P(r_i = x) = p_i(k, \lambda, \alpha) = 1 - F(x). \tag{1}$$

Note here that if r_i are continuous random variables with the density g_i, then (1) reduces to $P(r_i \geq x) = 1 - \int_0^1 g_i(t)dt = 1 - F(x)$. We briefly recall the main results that are well established in the literature and are devoted to studies of the RM. Littlewood (1972) first introduced the *marginal seat concept* of the revenue maximization for a single flight-leg seat inventory control problem with two fare classes. There, the expected marginal revenue (EMR) for the xth seat with the fare f_i in the fare class i is defined as:

$$EMR(x) = f_i \cdot P(r_i \geq x) = f_i \cdot (1 - F(x)) \tag{2}$$

The main idea was to equate the marginal revenues in each of the two fare classes. The airline company should stop selling tickets in the lower fare class ones the revenue for selling another low fare seat is exceeded by the expected revenue of selling the same seat at the higher fare, i.e. $f_2 \geq EMR(x)$, for $x \geq 1$. Then, the condition for accepting the demand for the higher class can be expressed in the form

$$f_2 = f_1 \cdot P(r_i \geq x), \tag{3}$$

or equivalently in the form $F(x) \geq 1-f_2/f_1$ Hence, an optimal protection limit) can be introduced as the solution of the equation $F(x^1{}_2)=1-f_2/f_1$ The demand for the higher class will be rejected if the aircraft capacity left is less than the protection limit. In order to apply the Littlewood's concept on multiple nested fare classes, Belobaba (1987) proposed the *seat inventory control model* (also known as the EMSRa model), that is based on the expected marginal seat revenue (EMSR) parameter, which equals $ESMR(x) = f_i \cdot P(r_i \geq x)$ for $1 \leq x \leq C$. The model suggests to calculate the number of seats, denoted by x_j^i, which should be protected for the higher fare class i over the fare class j, from the following condition

$$f_i \cdot P(r_i \geq x_j^i) = f_j, \ i > j \tag{4}$$

Thus, the number of seats that are protected x_j^i can be determined from the nonlinear equation $F(x^i{}_j)=1-f_j/f_i$ Furthermore, this method produces nested protection levels, denoted by Π_i, which consists of number of seats that are protected for the exclusive use of class $i-1$ and higher classes, i.e. for $n \geq 2$ it can be expressed by

$$\Pi_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} x_n^i \tag{5}$$

and $\Pi_n=C$. Accordingly, the number of seats that are available for each fare class i can be calculated. It is known as the booking limit and is denoted by BL_i. For $i \geq 2$ it is determined by

$$BL_i = C - \Pi_{i-1} \tag{6}$$

and for the highest class it equals $BL_1=C$. The difference between two consecutive booking limits determines the nested seat protection level for the fare class i, which we denote by c_i, i.e.

$$c_i = BL_i - BL_{i+1}. \tag{7}$$

Note that, the ith booking limit can be also expressed in terms of the nested protection levels as $c_i=\Pi_i-(\Pi_1+...+\Pi_{i-1})$. The relationship between these parameters in the nested seat allocation model is presented in Fig. 1. We point out that the EMSR method gives the optimal solution only for two fare classes. This challenging problem motivated other authors to propose and develop alternative methods for finding optimal solution for more than two fare classes. We refer the work of Curry, 1990 and Brumelle and McGill, 1993.

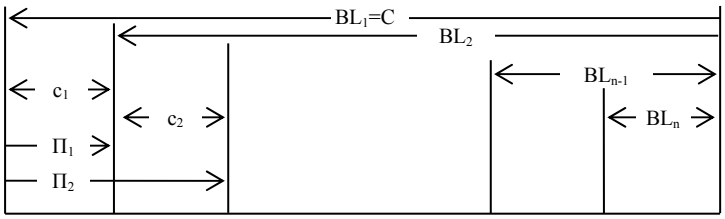


Figure 1. Nested seat allocation: booking limits (BL_i), nested seat protection levels (c_i) and protection levels (Π_i).

2.1. The expected revenue model on a single flight-leg

In this paper, we intend to develop a general procedure for maximizing the expected revenue on both, single-leg flight and on whole network. We first describe the optimization method for maximization the revenue on a single flight-leg with two fare classes and then generalize it for n fare classes. Moreover, in next subsection we extend the technique for maximizing the expected revenue on whole network. We point out that the method differs from the standard ones developed by Littlewood, Belobaba and others.

Let there be two fare classes f_1 and f_2, with $f_2<f_1$ offered for a single flight-leg. Let r_1 and r_2 be two independent random variables that represent number of soled seats respectively for the fare classes 1 and 2. Let g_1 and g_2 be the probability density functions, defined for $x\geq 0$, of respectively r_1 and r_2, and F_1 and F_2 their corresponding probability functions. For example, this means $F_1(x) = P(r_1 \leq x) = \int_0^x g_1(x)dx$ for $x>0$. Let C be the capacity of the aircraft. We denote by c_1 the nested seat protection level for the fare class 1. Therefore, there are c_1 seats that are protected for the first class and c_2 seats available for the second (cheaper) class, such that $c_1+c_2=C$. Total expected revenue on the flight, denoted by G, is calculated as the sum of expected revenues for each fare class, while the revenue for a certain class is the product of the fare price and expected number of soled seats. Thus, we can express the total revenue as a function of the nested seat protection levels c_1 and c_2, i.e.

$$G(c_1, c_2) = f_2 \cdot E(r_2) + f_1 \cdot E(r_1)\,. \tag{8}$$

where E denotes the expectation. Since, the random variable r_2 takes values in the interval $[0,c_2]$, while the random variable r_1 takes values in $[0,c_1]$, the expression (8) can be written in the form

$$G(c_1, c_2) = f_2 \cdot \int_0^{c_2} x g_2(x)dx + f_1 \cdot \int_0^{c_1} x g_1(x)dx \tag{9}$$

The integrals in (9) correspond to the expected numbers of the soled seats in an appropriate fare class. The goal is to maximize $G(c_1,c_2)$ under the constraint $c_1+c_2=C$, i.e. to obtain the nested seat protection levels c_1^* and c_2^* such that $\max_{c1,c2} G(c_1,c_2) = G(c_1^*,c_2^*)$ and $c_1^*+c_2^*=C$. By expressing the constraint in the form $c_1=C-c_2$ and replacing it in (8), the maximization problem with a constraint is reduced to the problem of maximizing a function $\widetilde{G} = \widetilde{G}(c_2)$ of one variable, where

$$\widetilde{G}(c_2) = f_2 \cdot \int_0^{c_2} x g_2(x)dx + f_1 \cdot \int_0^{C-c_2} x g_1(x)dx\,. \tag{10}$$

Stationary point, i.e. the solution c_2^* of $\widetilde{G}'(c_2) = 0$ that satisfies the condition $\widetilde{G}''(c_2^*) < 0$ is called the local maximum of the expected revenue $\widetilde{G}(c_2)$. Hence, we differentiate (9) and obtain the equation

$$f_2 \cdot c_2 \cdot g_2(c_2) + f_1 \cdot (C - c_2) \cdot g_1(C - c_2) = 0, \tag{11}$$

from which we obtain the candidates for local extremum. Moreover, the condition $\widetilde{G}''(c_2^*) < 0$ can be expressed in the general form

$$\frac{f_2}{f_1} \cdot (g_2(c_2) + c_2 \cdot g_2'(c_2)) < (C - c_2) \cdot g_1'(C - c_2) + g_1(C - c_2)\,. \tag{12}$$

We illustrate the described method with a simple example. Assume that the random variables r_1 and r_2 independent continuous random variables with the Uniform distributions $g_1(x)=1/\lambda_1$ and $g_2(x)=1/\lambda_2$ for $x\in(0,C)$, such that it holds $f_1/f_2>\lambda_1/\lambda_2$ Then the equation (11) reduces to the equation $f_2 \cdot c_2 \cdot 1/\lambda_2 + f_1 \cdot (C - c_2) \cdot 1/\lambda_1 = 0$, which further leads to the stationary point $c_2^*=f_1\cdot\lambda_2/(f_1\cdot\lambda_2-f_2\cdot\lambda_1)$. Note that

$f_1 \cdot \lambda_2 - f_2 \cdot \lambda_1 \neq 0$, since $f_1/f_2 \neq \lambda_1/\lambda_2$. Moreover, the point c_2^* satisfies (12), because it transforms to $f_1/f_2 > \lambda_1/\lambda_2$. Finally, the optimal nested seat protection level c_1^* is of the form $c_1^* = C - f_1 \cdot \lambda_2/(f_1 \cdot \lambda_2 - f_2 \cdot \lambda_1)$. We underline here that the method can be applied when r_1 and r_2 have different forms of the density functions. For example, consider the case that the density $g_2(x)=1/x^2$, for $x \geq 1$ and $g_1(x)=1/\lambda_1=1/(C-1)$, for $x \geq 1$. Clearly, r_1: $U(1,C)$ and r_2 is a continuous random variable with power density. Then, (11) reduces to the equation $-f_1 \cdot c_2^2 + f_1 \cdot C \cdot c_2 + f_1 \cdot \lambda_1 = 0$, whose positive solution $c_2^* = C/2 + \sqrt{C^2/4 + \lambda_1 \cdot f_2/f_1}$ satisfies the condition (12) and is the local maximum of $\widetilde{G}$. Hence, $G(c_1^*, c_2^*) = G(C - c_2^*, c_2^*)$ is the maximal expected revenue. It is clear that the explicit form of the solutions of (11) cannot be obtained in general. Then, one has to apply numerical methods to approximate the solution. In case when r_1 and r_2 are discrete random variables the expectations in (8) are represented in the form $E(r_i) = \sum_{k=1}^{c_i} k \cdot p_i(k) = \sum_{k=1}^{c_i} k \cdot P(r_i = k)$. Therefore, total expected revenue in (9) is $G(c_1, c_2) = f_2 \cdot \sum_{k=1}^{c_2} k \cdot p_1(k) + f_1 \cdot \sum_{k=1}^{c_1} k \cdot p_2(k)$. Consider now the maximization problem of the revenue on a single flight-leg with n fare classes, $n \geq 2$ and $f_j < f_i$, for $j<i$. Let r_i denotes a continuous random variable in the class i with the density g_i and the corresponding distribution function F_i, where $1 \leq i \leq n$. Let c_i be the nested seat protection level for the fare class i and $c_1 + c_2 + \ldots + c_n = C$ the capacity of the aircraft. We can express the total expected revenue as a function of the nested seat protection levels in the form

$$G(c_1, \ldots, c_n) = \sum_{k=1}^{n} f_k \cdot E(r_k) = \sum_{k=2}^{n} f_k \cdot \int_0^{c_k} x g_k(x) dx + f_1 \cdot \int_0^{c_1} x g_1(x) dx, \tag{13}$$

since the random variables r_i take values in $[0, c_k]$. The main problem is to maximize the function $G(c_1, \ldots, c_n)$ with respect to the constraint $c_1 + c_2 + \ldots + c_n = C$. We eliminate the constraint by expressing it as $c_1 = C - c_2 - \ldots - c_n$ and obtain the problem of maximizing the function of $n-1$ variables

$$\widetilde{G}(c_1, \ldots, c_n) = \sum_{k=2}^{n} f_k \cdot \int_0^{c_k} x g_k(x) dx + f_1 \cdot \int_0^{C - c_2 - \ldots - c_n} x g_1(x) dx. \tag{14}$$

Stationary point $S(c_1^*, \ldots, c_n^*)$ is the solution of the system of $(n-1)$ – equations $\partial \widetilde{G}(c_1, \ldots, c_n)/\partial c_i = 0$ for $2 \leq i \leq n$. If additionally, the second order conditions are satisfied, i.e. if $\partial^2 \widetilde{G}/\partial c_1 \big|_S < 0$ and determinants of submatrices A_k of the matrix

$$A_{n-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_2^2} & \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_2 \partial c_3} & \cdots & \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_2 \partial c_n} \\ \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_2 \partial c_3} & \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_3^2} & \cdots & \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_3 \partial c_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_2 \partial c_n} & \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_3 \partial c_n} & \cdots & \frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_n^2} \end{bmatrix}$$

are respectively $detA_k(S) > 0$, when k is even and $detA_k(S) < 0$ when k is odd, $2 \leq k \leq n-1$, then the stationary point S is a local maximum. The system of (n-1) - equations for obtaining the coordinates of S are given by

$$f_i \cdot c_i \cdot g_i(c_i) - f_1 \cdot (C - c_2 - \ldots - c_n) \cdot g_1(C - c_2 - \ldots - c_n) = 0, \quad \text{for} \quad 2 \leq i \leq n. \tag{15}$$

Moreover, it holds $\frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_i^2} = f_i \cdot g_i(c_i) + f_i \cdot c_i \cdot g_i(c_i) + f_1 \cdot g_1(C - c_2 - \ldots - c_n) + f_1 \cdot (C - c_2 - \ldots - c_n) \cdot \frac{\partial g_1}{\partial c_1}(C - c_2 - \ldots - c_n)$, for $2 \leq i \leq n$ and $\frac{\partial^2 \widetilde{G}}{\partial c_i \partial c_j} = f_1 \cdot g_1(C - c_2 - \ldots - c_n) + f_1 \cdot (C - c_2 - \ldots - c_n) \cdot \frac{\partial g_1}{\partial c_j}(C - c_2 - \ldots - c_n)$, for $i \neq j$ and $2 \leq i \leq n$.

2.2. Expected revenue of the network

We now focus on generalizing the optimization results obtained in the previous subsection for the problem on a single flight-leg, and consider the maximization of the expected revenue on whole network. Clearly, the goal is to find the fare class nest allocations that maximize the expected revenue of the network which consist of m flight-legs. There are n fare classes offered on each flight-leg. We want to maximize the function

$$\max \sum_{j=1}^{m} G_i(c_1^j, \ldots c_n^j), \tag{16}$$

subject to the constraints $c^j_1 + c^j_2 + \ldots + c^j_n = C_j$, for $1 \leq j \leq m$, where c^j_i is the nested seat protection level for the fare class i, $1 \leq i \leq n$, on the jth leg-flight, $1 \leq j \leq m$ and C_j is the capacity of an aircraft on the jth leg. Then, the total revenue on each flight-leg are given in the form (13) and hence, the total revenue on the entire network is the function of $n \cdot m$ variables. It can be written in the form

$$T(c_1^1,\ldots c_n^1,\ldots,\ c_1^m,\ldots c_n^m) = \sum_{j=1}^{m} G_i(c_1^j,\ldots c_n^j) = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{k=2}^{n} f_k \cdot \int_0^{c_k^j} xg_k^j(x)dx + f_1 \cdot \int_0^{c_1^j} xg_1^j(x)dx\right).$$

We eliminate the constraints by expressing $c^j_1 = C_j - c^j_2 - \ldots - c^j_n$, for each $1 \le j \le m$ and reduce the problem to the problem of finding a maximum of function of $(n-1)\cdot m$ variables

$$\widetilde{T}(c_2^1,\ldots c_n^1,\ldots,\ c_2^m,\ldots c_n^m) = \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{k=2}^{n} f_k \cdot \int_0^{c_k^j} xg_k^j(x)dx + f_1 \cdot \int_0^{C^j - c_2^j - \ldots - c_n^j} xg_1^j(x)dx\right).$$

Due to very complicated calculations, we omit here the explicit formulation of all equations and conditions. The procedure for solving the problem goes in an analogous way as it was done for the problem on one flight-leg. Consider now the example when the demand functions r_i in each class i are GPDs. One can use the presented approach also in this case, due to the fact that the standardized form of the GPD, i.e. its asymptotic behavior follows normal distribution, Chandra *et al.* (2013).

3. CONCLUSION

In this paper we have considered the nested reservation system with multiple fare classes on airline network problem. In order to develop a model with time-dependent arrival probabilities, we assumed that that the demand for each fare class is a random variable, independent from demands in other fare classes. For this purpose, we incorporate the Generalized Poisson distribution of the demand into the RM model. It is shown that proposed model is optimal for two-class single-leg, as well as for multi-class single-leg airline problem. We have also proposed the extension of the model on whole airline network in order to optimize the revenue by combining the local and connecting passengers on each flight and each itinerary.

Acknowledgement

This research has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, as a part of the projects TR36033 and TR36047 (2011-2017).

REFERENCES

[1] Belobaba, P. P., 1987. Airline Yield Management: An Overview of Seat Inventory Control. Transportation Science 21, 63–73.

[2] Belobaba, P. P., 1989. Application of a Probabilistic Decision Model to Airline Seat Inventory Control. Operations Research 37, 183–197.

[3] Bront, J., Méndez-Díaz, I., Vulcano, G., 2009. A column generation algorithm for choice-based network revenue management. Operations Research 57 (3), 769–784.

[4] Brumelle, S.L., McGill, J.I., 1993. Airline seat allocation with multiple nested fare classes. Operations Research 41, 127–137.

[5] Chandra, N. K., Roy, D., Ghosh, T., 2013. A generalized Poisson distribution. Communications in Statistics-Theory and Methods 42 (15), 2786-2797.

[6] Consul, P. C., Jain, G. C., 1973. A generalization of the Poisson distribution. Technometrics 15, 791-799.

[7] Consul, P. C., 1988. Generalized Poisson distribution, Properties and Applications. Statistics: Textbooks and Monographs 99. Marcel Dekker, Inc. New York.

[8] Curry, R., 1990. Optimal seat allocation with fare classes nested by origins and destinations. Transportation Science 24, 193–204.

[9] Feng Y, Xiao B., 2006. Integration of pricing and capacity allocation for perishable products. European Journal of Operational Research 169, 17–34.

[10] Kleywegt, A., Papastavrou, J.D., 2001. The dynamic and stochastic knapsack problem with random sized items. Operations Research 49, 26–41.

[11] Lee, T.C., Hersh, M., 1993. A model for dynamic airline seat inventory control with multiple seat bookings. Transportation Science 27, 252–265.

[12] Littlewood, K., 1972. Forecasting and control of passenger bookings, AGIFORS Symposium Proceedings, 95–117.

[13] Popović, J., Teodorović, D., 1997. An adaptive method for generating demand inputs to airline seat inventory control models. Transportation Research, Part B 31 (2), 159-175.

[14] Williamson, E.L., 1992. Airline Network Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts, Ph.D. thesis, Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

FROM LOYALTY TO FEAR: PASSENGERS' PREFERENCES AND THEIR IMPACT ON THE AIRLINE NETWORK STRUCTURE

DANICA BABIĆ[1], BORIS BEGOVIĆ[2], TIJANA LEVAJKOVIĆ[3]

[1] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, d.babic@sf.bg.ac.rs
[2] University of Belgrade, Faculty of Law, begovic@ius.bg.ac.rs
[3] University of Innsbruck, Faculty of Mathematics, Computer Science and Physics

Abstract: *This paper provides a mathematical model of the profitability of different airline network choices, taking into account passengers' preferences. Particularly, two passengers' personal features are considered: the passenger loyalty to an airline and the fear of flying. Throughout last decades, number of passengers that suffer from a fear of flying is increasing. In cases of very intense fear of flying, passengers may decide not to fly, but rather to use an alternative way of transport. This would result in a reduction of an airlines' revenue and profit. In this paper an optimization model, which includes the influence of loyalty factor and fear of flying, is presented and analysis of two different types of network structures is provided. It is assumed that the loyalty factor is a random variable with the Uniform distribution, while the fear of flying factor is a random variable with the Beta distribution.*

Keywords: *airline profit, network structure, passenger loyalty, fear of flying.*

1. INTRODUCTION

The competition between airlines in the open market changed in recent years. Many low-cost carrier (LCC) markets are reaching the state of being saturated. Their focus is shifted on primary airports since 2014, intensifying the direct competition with the full-service carriers (FSC). The competition on intercontinental markets also enhanced with expansion of the Turkish and the Gulf carriers. These airlines have managed to redirect a large part of the connecting traffic to their hubs, instead of hubs in the EU. Thus, in more competitive air transport market, the strategy of an airline to attract more passengers needs to be adjusted, too. By using the loyalty programs, the airline communicates with its passengers directly, exploring their needs, wishes, expectations etc. In this way the airline collects the information about their preferences on booking arrangements, meals, rewards etc., which may be further used to improve their services. With the freedom to manage traffic and price more proactively, the airlines are able to increase the demand by maximizing the value provided to customers and to charge the price which is the most rewarding with respect to its goals.

The main service quality aspects in airline industry refer to flight schedule and safety performances. Despite the fact that the airline safety performances are improved significantly in the past decades and that in the last years the record figures are achieved in respect to safety, almost half of the population is affected by the fear of flying (FOF), (Van Gerwen et al., 2004). Thus, this phenomenon is not related to the statistics. Nowadays, it is treated as an irrational fear based on the psychological, social and physiological processes which contribute to it, (Oakes and Bor, 2010). The FOF can be so intense to some passengers producing the psychological symptoms that will make flying a distress or more radical, result in total avoidance of flying. For an airline, this results in a reduction of demand and decreasing the opportunity to gain the revenue. Against this background, the better route structure clearly represents an opportunity for airlines to decrease the negative impact of the FOF and to reach a larger market.

The main results in this area were devoted to modelling network structure choice and the effects of this choice on scheduling and price (Brueckner and Zhang, 2001; Brueckner and Flores-Fillol, 2007; Pels, 2009; Flores-Fillol, 2009; Silva et al., 2014; Babić, 2015). These papers model airline network choice considering the passenger's preferences with respect to departure time and the loyalty to the airlines. In this paper we focus our attention on the influence of two important factors, the loyalty and the FOF on the airline network structure. We point out that there are passengers who suffer of FOF but are flying only with those airlines they trust, i.e. there are loyal. Here we bring a deeper study of the interaction of the fear and trust and their effect on the airline network structure. By considering only common factors such as price, flight time

convenience and level of service, while omitting the impact of FOF, might lead to misleading conclusions about passenger's preferences and requirements.

2. DESCRIPTION OF THE MODEL

This paper deals with the airline choice of the network structure and how the FOF in interaction with the loyalty factor affects this choice. The following assumptions are made:

- The model is set up on a simple network structure consisting of three airports, A, B and H, Fig. 1;
- There are no other transportation modes between the destinations in the model;
- Two competing airlines, marked by 1 and 2, are serving the market;
- The passenger demand, denoted by q, between each pair of the airports exists and are the same;
- The route lengths, denoted by l, between the airports are equal;
- If an airline chooses the HS network, then the hub will be the airport H;
- Passengers' population consists of passengers that are and are not affected by the fear of flying;
- Passenger's loyalty, A, is a continuous random variable with the Uniform distribution with the parameter $\alpha>2$;
- Fear of flying, Φ, is a continuous random variable with the Beta distribution with two parameters a,b>0;
- The random variables A and Φ are independent;
- Under the HS network configuration, the price on the route AB must be less than the sum of prices on the routes AH and BH, i.e. $P_{hs}<2p_{hs}$;
- All consumers are risk neutral, i.e. constant marginal utility of money is assumed.

In this paper, we consider two network structures: point-to-point (PP) or hub-and-spoke (HS). If an airline chooses the PP network structure, then it operates direct flights between each pair of the airports, Fig. 1a. In the case when the airline chooses the HS network structure, then all the flows are directed through the hub H, Fig. 1b. Thus, the routes AH and BH are always served directly, while the route AB could be served either direct or indirect through the airport H, depending on the chosen network structure. In the HS network case, it is also assumed that enplaned passengers on the routes AH and BH include passengers traveling directly on the routes AH and BH, respectively, and passengers travelling indirect on the route AB via the hub H.

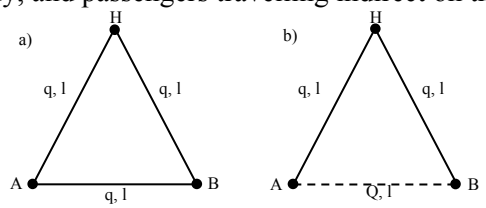


Figure. 1. Network structure: a) Point-to-point (PP); b) Hub-and-spoke (HS).

According to the chosen network structure, the airlines simultaneously determine prices and frequencies that will maximize their profit. Each airline determines its price and frequency in accordance with expected price and frequency chosen by the competitor (the Bertrand model of competition). The airline service is determined by the price and quality. The quality can be expressed through the availability of the flight and the availability of seats on a particular flight. Passengers choose an airline, according to their perception of the level of service they get, which can be expressed through the possible cost they would have if choosing one of the alternatives. In this paper, the passenger's cost C, is calculated as the sum of the following: a) ticket price p, b) frequency delay, c) stochastic delay, d) cost based on the loyalty A and e) cost generated by the FOF Φ. An average frequency delay measures the difference between passengers' desired time to fly and the time of the nearest flight departure offered by an airline (Swan, 1979). It is assumed that flights are uniformly distributed during the period of the day T. If an airline offers f flights daily, the time interval between two consecutive flights is T/f, and the average time to the nearest flight is a quarter of this value, $T/4f$. It is assumed that each hour of deviation of the actual departure times from the desired one induces a certain cost δ for a passenger. Stochastic delay represents the expected value of the delay due to the load factor η (Swan, 1979). It is assumed that any refusal of passenger on the nearest flight due to the η induces a certain cost μ. Thus, the function that measures passenger cost of choosing one of the airlines can be written as follows:

$$C = p + \frac{\delta \cdot T}{4 \cdot f} + \frac{\mu \cdot 57 \cdot \eta^9}{f} - A + \Phi = p + \frac{\gamma}{f} + \frac{k \cdot \eta^9}{f} - A + \Phi \text{ , where } \gamma = \frac{\delta \cdot T}{4} \text{ and } k = \mu \cdot 57 \text{ .} \quad (1)$$

It is assumed that the loyalty parameter A is Uniformly distributed on $(-\alpha/2, \alpha/2)$ and $\alpha>2$. The sign „+" means that the passenger is loyal to the considered airline and the sign „-" means that the passenger is loyal to the competing airline. Accordingly, loyalty varies among passengers. Parameter Φ follows the Beta

distribution $B(a,b)$ with two parameters $a,b>0$. The probability of occurrence of passenger affected by FOF is a discrete event and its values all lie between zero and one which justifies the use of the beta distribution. It is assumed that passengers affected by FOF will either take a flight or not fly at all. The fear is expressed as a cost and when the passenger is not afraid to fly then $\Phi=0$. Thus, the model discusses just the influence of the loyalty factor and it reduces to the case studied in (Babić, 2015). The densities of the random variables A and Φ are respectively:

$$A: f_1(x)=\frac{1}{\alpha}, x\in\left(-\frac{\alpha}{2},\frac{\alpha}{2}\right), \alpha>2 \quad \text{and} \quad \Phi: f_2(y)=\frac{1}{B(a,b)}\cdot y^{a-1}\cdot(1-y)^{b-1}, y\in(0,1).$$

Let α>2 and $D=\{(x,y)\in R^2; x\in(-\alpha/2, \alpha/2), y\in(0,1)\}$. From the independency assumption, it follows that the density of the two-dimensional random variable (A, Φ) is given as the product of the densities of random variables A and Φ (also called marginal distributions), i.e. $f(x,y)=f_1(x)\cdot f_2(y)$ for $(x,y)\in D$, and $f(x,y)=0$, $(x,y)\notin D$. We recall that it holds:

$$\iint_D f(x,y)dxdy = \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} f_1(x)dx \cdot \int_0^1 f_2(y)dy = 1.$$

We, also, denote by $B(x,a,b)=\int_0^x f_2(y)dy$. Then, $B(1,a,b)=B(a,b)$ and $B(0,a,b)=0$.

When a passenger suffers of the FOF we assumed that he/she will either fly with his favorable company or not fly at all. Clearly, the probability that the passenger who suffers from the FOF fly with a non-preferable airline is considered to be zero. Therefore, he/she will fly with his/her favorable airline, let's say here the airline 1, as long as his/her loyalty is greater than his/her fear, i.e. as long as it holds $A-\Phi>0$. Then, the passenger whose preferable airline is airline 1 will fly with it if it holds:

$$p_1+\frac{\gamma}{f_1}+\frac{k\cdot\eta^9}{f_1}-A+\Phi<p_2+\frac{\gamma}{f_2}+\frac{k\cdot\eta^9}{f_2}. \tag{2}$$

The condition (2) leads to the condition:

$$A-\Phi>p_1-p_2+(\gamma+k\cdot\eta^9)\cdot\left(\frac{1}{f_1}-\frac{1}{f_2}\right). \tag{3}$$

For simplicity, further on we denote by $\tilde{k}=\gamma+k\cdot\eta^9$ and the RH side of (3) by c, i.e. $c=p_1-p_2+\tilde{k}\cdot(1/f_1-1/f_2)$. Thus, the demand is obtained as the probability $q_1=P(A-\Phi>c)=P(A>\Phi+c)$. From the construction, we are interested only in the case when the FOF is compensated with the loyalty. In order to calculate the demand q_1, we divide the domain D on three disjoint subdomains D_1, D_2 and D_3, Fig. 2. The demand q_1 is calculated on each subdomain and has three non-trivial forms.

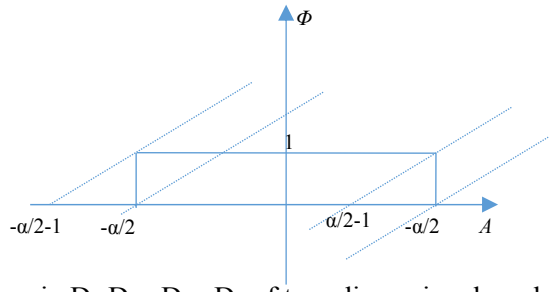


Figure 3. The domain $D=D_1\cup D_2\cup D_3$ of two-dimensional random variable (A,Φ)

For c∈(-1-α/2,-α/2) the demand is considered on the subdomain D_1:x∈(-α/2,1-α/2), y∈(0,1) and:

$$q_1=\int_0^1\left(\int_{-\frac{\alpha}{2}}^{y-\frac{\alpha}{2}}\frac{1}{\alpha}\cdot f_2(y)dx\right)dy-\int_{-\frac{\alpha}{2}-c}^{1}\left(\int_{-\frac{\alpha}{2}}^{y+c}\frac{1}{\alpha}\cdot f_2(y)dx\right)dy=\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\left(B\left(-\frac{\alpha}{2}-c,a+1,b\right)-\left(c+\frac{\alpha}{2}\right)\cdot\left(B(a,b)-B\left(-\frac{\alpha}{2}-c,a,b\right)\right)\right). \tag{4}$$

For c∈(-α/2,α/2-1) the demand is considered in the subdomain D_2:, x∈(y-α/2,y+α/2-1), y∈(0,1) and:

$$q_1=\iint_{D_2} f_1(x)\cdot f_2(y)dxdy=\int_0^1\left(\int_{y+c}^{y-1+\frac{\alpha}{2}}\frac{1}{\alpha}dx\right)f_2(y)dy=\frac{1}{\alpha}\cdot\left(\frac{\alpha}{2}-c-1\right)\cdot\int_0^1 f_2(y)dy=\frac{1}{2}-\frac{(c+1)}{\alpha}. \tag{5}$$

For c∈(α/2-1,α/2) the demand is considered in the subdomain D_3: x∈(α/2-1,α/2), y∈(x-α/2+1,α/2) and:

$$q_1=\iint_{D_3} f_1(x)\cdot f_2(y)dxdy=\int_0^{\frac{\alpha}{2}-c}\left(\int_{y+c}^{\frac{\alpha}{2}}\frac{1}{\alpha}dx\right)\cdot f_2(y)dy=\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot\left(\left(\frac{\alpha}{2}-c\right)\cdot B\left(\frac{\alpha}{2}-c,a,b\right)-B\left(\frac{\alpha}{2}-c,a+1,b\right)\right). \tag{6}$$

Finally, for c<-1-α/2 the demand $q_1=0$ and for c>α/2 the demand $q_1=1$.

The demand function on the indirect route AB via the hub H in the HS network $Q_1=P(A-\Phi>C)$, where we

denoted by $C = P_1 - P_2 + \tilde{k} \cdot (1/f_1 - 1/f_2)$, is calculated in the same way as the demand q_1, only the prices p_1 and p_2 are replaced with the corresponding prices P_1 and P_2.

For a direct route, the required number of seats depends only on the number of passengers that fly directly and it equals to the ratio of the demand and the product of frequency and load factor, i.e. $s_{pp}=q/(\eta \cdot f)$. On the other hand, the required number of seats on an indirect route, equals to the ratio of the total demand on the route (passengers who fly on a direct flight q and transfer passengers on the route AB, through hub H, Q) and the product of frequency and load factor: i.e. $s_{hs}=(q+Q)/(\eta \cdot f)$. The total cost ($TC_i$) for operating the particular route i is a function of flight unit costs, route length l_i, aircraft capacity s and frequency f and is given by $TC_i = (\tilde{b} \cdot s + \tilde{c}) \cdot l_i \cdot f$, for $i=1,2,3$, where $\tilde{b}$ is the unit transportation cost, while $\tilde{c}$ is the segment-specific cost.

2.1. Submodel (PP,PP)

We consider first a submodel in which both airlines choose the PP network structure to serve the airports. Each airline operates on three nonstop routes. The airline profit is then defined by the revenue gained on all routes subtracting the total operating costs, i.e.:

$$P_{pp1} = 3 \cdot \left(q_1 \cdot p_{pp1} - (\tilde{b} \cdot s_{pp} + \tilde{c}) \cdot l \cdot f_{pp1}\right) = 3 \cdot \left(q_1 \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) - \tilde{c} \cdot l \cdot f_{pp1}\right). \tag{7}$$

We are going to maximize the profit in all cases, i.e. for all different forms of q_1, see (4), (5) and (6). The method of obtaining the optimal solution $S(p_{pp}^*, f_{pp}^*)$ is standard in analysis. Clearly, first we find the partial derivatives with respect to p_{pp1} and f_{pp1}, and then solve the system of equations.

$$\frac{\partial P_{1\,pp}}{\partial p_{pp1}} = 0 \;,\; \frac{\partial P_{1\,pp}}{\partial f_{pp1}} = 0 \,. \tag{8}$$

A solution of (8) is called stationary point and is denoted by S. Here we omit a detailed calculation that proves that S is a local maximum and present main expressions.

For $c \in (-1-\alpha/2, -\alpha/2)$, the demand q_1 is of the form (4) and

$$P_{pp1} = \frac{3}{\alpha \cdot B(a,b)} \cdot \left(\left(B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a+1, b\right) - \left(c + \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left(B(a,b) - B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right)\right)\right) \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) - \alpha \cdot B(a,b) \cdot \tilde{c} \cdot l \cdot f_{pp1}\right). \tag{9}$$

By $\frac{\partial c}{\partial p_{pp1}} = 1$, $\frac{\partial q_1}{\partial c} = \frac{1}{\alpha \cdot B(a,b)} \cdot \left(B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right) - B(a,b)\right)$, $\frac{\partial c}{\partial f_{pp1}} = -\frac{\gamma + k \cdot \eta^9}{f_{pp1}^2} = -\frac{\tilde{k}}{f_{pp1}^2}$, the system (8) transforms to:

$$\left[B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right) - B(a,b)\right] \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) + q_1 \cdot \alpha \cdot B(a,b) = 0. \quad \text{and} \quad \frac{\tilde{k}}{\alpha \cdot B(a,b)} \cdot \frac{1}{f_{pp1}^2} \cdot \left(B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right) - B(a,b)\right) \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) - \tilde{c} \cdot l = 0 \tag{10}$$

which reduces to the system of two implicit equations:

$$q_1 = -\frac{\tilde{c} \cdot l \cdot \alpha}{\tilde{k}} \cdot B(a,b) \cdot f_{pp1}^2. \tag{11}$$

$$\left[B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right) - B(a,b)\right] \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta} + c + \frac{\alpha}{2}\right) + B\left(-\frac{\alpha}{2} - c, a+1, b\right) = 0. \tag{12}$$

When $c \in (-\alpha/2, \alpha/2-1)$, then the demand is of the form $q_1 = ½ - (c+1)/\alpha$ and (8) is of the form:

$$-\frac{1}{\alpha} \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) + q_1 = 0. \quad \text{and} \quad \frac{\tilde{k}}{\alpha \cdot f_{pp1}^2} \cdot \left(p_{1\,pp} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) - \tilde{c} \cdot l = 0. \tag{13}$$

Finally, for $c \in (\alpha/2-1, \alpha/2)$, the demand q_1 is given by (6) and thus the system (8) is of the form:

$$B\left(\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right) \cdot \left(-p_{pp1} + \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta} + \frac{\alpha}{2} - c\right) - B\left(\frac{\alpha}{2} - c, a+1, b\right) = 0. \tag{14}$$

$$\frac{\tilde{k}}{f_{pp1}^2} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot B(a,b)} \cdot B\left(\frac{\alpha}{2} - c, a, b\right) \cdot \left(p_{pp1} - \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta}\right) - \tilde{c} \cdot l = 0. \tag{15}$$

We obtain explicit forms of the prices and the corresponding frequencies which maximize the profit in two specific cases. First, we consider the equilibrium case when $p_{pp1}=p_{pp2}$ and $f_{pp1}=f_{pp2}$. Then, we obtain $c=0$, which means that $c \in (-\alpha/2, \alpha/2-1)$. From the system of equations (13), we obtain the stationary point $S(p_{pp}^*, f_{pp}^*)$, where

$$p_{pp}^* = \frac{\tilde{b} \cdot l}{\eta} + \frac{\alpha}{2} - 1 \quad \text{and} \quad f_{pp}^* = \sqrt{\frac{\tilde{k}}{2 \cdot \tilde{c} \cdot l} \cdot \left(1 - \frac{2}{\alpha}\right)}. \tag{16}$$

The point $S(p_{pp}^*, f_{pp}^*)$ satisfies the convexity conditions, and thus it maximizes the profit. Here we omit these calculations. From (16) we deduce that the optimal price charged by the airline increases with $\tilde{b}$, l and α, while decreases as η increases. Also, f_{pp}^* is directly proportional to the α, disutility of frequency and stochastic delay and is inversely proportional to the $\tilde{c}$ and l.

2.1. Submodel (HS,HS)

The second submodel considered in this paper arises when both airlines choose the HS network structure. All passengers in the network are served through the hub H and those traveling on the route AB are served by two flights, AH and BH. The profits of the airlines are determined by the revenue gained on three routes subtracted by all operating costs. Then the profit of the airline 1 is given by:

$$P_{hs1}=2\cdot q_1\cdot p_{hs1}+Q_1\cdot P_{hs1}-2\cdot\left(\tilde{b}\cdot s_{hs}+\tilde{c}\right)\cdot l\cdot f_{hs1}=q_1\cdot\left(2\cdot p_{hs1}-2\cdot\frac{\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+Q_1\cdot\left(P_{hs1}-2\cdot\frac{\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)-2\cdot\tilde{c}\cdot l\cdot f_{hs1} \quad \text{where } s_{hs}=\frac{q_1+Q_1}{\eta\cdot f_{hs1}}. \tag{19}$$

As in the submodel (PP,PP), here we have three nontrivial demand expressions and thus three situations to consider. We calculate the coordinates of stationary points $M(p_{hs}^*, P_{hs}^*, f_{hs}^*)$ as solutions of the system:

$$\frac{\partial P_{1hs}}{\partial p_{hs1}}=0,\ \frac{\partial P_{1hs}}{\partial P_{hs1}}=0,\ \frac{\partial P_{1hs}}{\partial f_{hs1}}=0. \tag{20}$$

Additionally, those M which also satisfies the second order conditions will maximize the profit.

For c∈(-1-α/2,-α/2) and C∈(-1-α/2,-α/2), the demands q_1 and Q_1 are of the form (4) and then the system of equations (20) reduces to the system:

$$\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot\left(B\left(-\frac{\alpha}{2}-c,a,b\right)-B(a,b)\right)\cdot\left(2\cdot p_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+2\cdot q_1=0. \tag{21}$$

$$\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot\left(B\left(-\frac{\alpha}{2}-C,a,b\right)-B(a,b)\right)\cdot\left(P_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+Q_1=0. \tag{22}$$

$$\left[\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot\left(B\left(-\frac{\alpha}{2}-c,a,b\right)-B(a,b)\right)\cdot\left(2\cdot p_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot\left(B\left(-\frac{\alpha}{2}-C,a,b\right)-B(a,b)\right)\cdot\left(P_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)\right]\cdot\left(\frac{\tilde{k}}{f_{hs1}^2}\right)-2\cdot l\cdot\tilde{c}=0. \tag{23}$$

For c∈(-α/2,α/2-1) and C∈(-α/2,α/2-1), the demands are $q_1=½-(c+1)/\alpha$ and $Q_1=½-(C+1)/\alpha$. Then the system (20) is of the form:

$$-\frac{1}{\alpha}\cdot\left(2\cdot p_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+2\cdot q_1=0. \qquad -\frac{1}{\alpha}\cdot\left(P_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+Q_1=0. \qquad \frac{\tilde{k}}{\alpha\cdot f_{hs1}^2}\left(2\cdot p_{hs1}+P_{hs1}-\frac{4\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)-2\cdot l\cdot\tilde{c}=0. \tag{24}$$

For c∈(α/2-1,α/2) and C∈(α/2-1,α/2), the q_1 and Q_1 are of the form (6) and the system (20) becomes:

$$-\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot B\left(\frac{\alpha}{2}-c,a,b\right)\cdot\left(2\cdot p_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+2\cdot q_1=0. \tag{25}$$

$$-\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot B\left(\frac{\alpha}{2}-C,a,b\right)\cdot\left(P_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+Q_1=0. \tag{26}$$

$$\left[\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot B\left(-\frac{\alpha}{2}-c,a,b\right)\cdot\left(2\cdot p_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)+\frac{1}{\alpha\cdot B(a,b)}\cdot B\left(-\frac{\alpha}{2}-C,a,b\right)\cdot\left(P_{hs1}-\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}\right)\right]\cdot\left(\frac{\tilde{k}}{f_{hs1}^2}\right)-2\cdot l\cdot\tilde{c}=0. \tag{27}$$

We consider the equilibrium case, i.e. the case $p_{hs1}=p_{hs2}$, $P_{hs1}=P_{hs2}$ and $f_{hs1}=f_{hs2}$. Then, we obtain $c=C=0$ which means that $c=C\in(-\alpha/2,\alpha/2-1)$. From the system of equations (24), we obtain the coordinates of $M(p_{hs}^*, P_{hs}^*, f_{hs}^*)$:

$$p_{hs}^*=\frac{\tilde{b}\cdot l}{\eta}+\frac{\alpha}{2}-1 \qquad P_{hs}^*=\frac{2\cdot\tilde{b}\cdot l}{\eta}+\frac{\alpha}{2}-1 \qquad f_{hs}^*=\sqrt{\frac{3\cdot\tilde{k}}{4\cdot\tilde{c}\cdot l}\cdot\left(1-\frac{2}{\alpha}\right)}. \tag{28}$$

Comparing these results with the ones determined in the (PP,PP) case, it can be noticed that both the frequency f_{hs}^* and the price on indirect route P_{hs}^* are higher, while the price on direct routes p_{hs}^* are the same.

3. DISCUSSION

By comparing the (PP,PP) and (HS,HS) network structures, we first observe that the frequency f_{hs}^* is higher than the frequency f_{pp}^*. This is a consequence of more traffic on each of the served route. This additional traffic is provided by routing the flights through the hub. With higher traffic density an airline has an opportunity to use larger aircraft that, in turn, has a lower unit cost. In addition, the price that is charged on the route AB is higher under the (HS,HS) structure, that is the effect of the transporting passengers on the two flights instead of one direct flight.

As the purpose of this paper is to study the influence of FOF and the loyalty factor on the airline network structure, we compared the results of presented model with the results of the model in which only the loyalty parameter was considered and the FOF parameter was omitted. This model is given in (Babić, 2015). In the case of equilibrium each airline is attracting the same proportion of market demand (i.e. $q_1=q_2=1/2-1/\alpha$). As we saw in (4)-(6), if the passenger suffers of FOF, the intensity of FOF is expressed with the Beta distribution. Additionally, if the fear is so intense and exceeds the loyalty value, the probability to fly is zero. Thus, the market is partially served since some passengers choose not to fly due to either very intense FOF

or insufficient loyalty to overcome this fear. Prices and frequencies are higher in the model without the FOF parameter. This is feature is expected, since in the presented model, the FOF factor is introduced as addition cost for a passenger and thus the demand is lower.

We analyzed the profits in both models, for both network structures, (PP and HS). It reveals that the profit in the model without the FOF in not necessarily higher in comparison to the model with the FOF. Fig. 3 shows the results in terms of profit difference between these two models and reveals the parameter combination when these profits are equal (note that $W = \tilde{k} \cdot \tilde{c} \cdot l$).

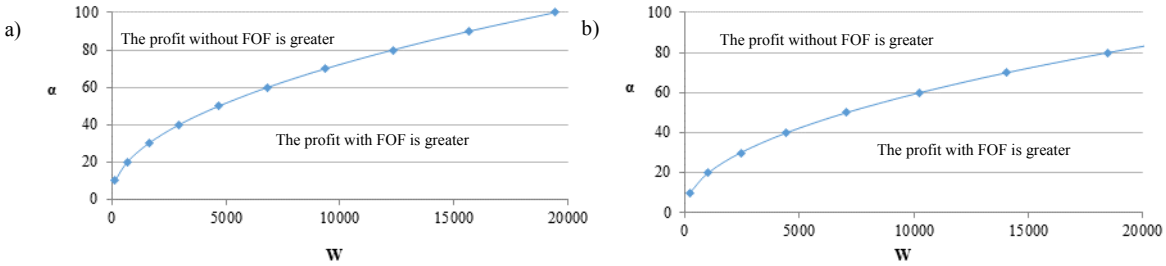


Figure 3. a) PP network structure; b) HS network structure

4. CONCLUSION

In this paper, we proposed a model for the profitability of different airline network choices, when taking into account combination of personal preferences towards different airlines and possibility that a passenger has a FOF. We obtained optimal values of the prices and frequencies depending on the different networks, not only in the equilibrium case, but also we provided the discussion for non-equilibrium situation. The main finding from the analysis confirms our intuition that both price and frequencies are reduced since the passenger's costs are higher in the presence of FOF. In addition, the demand for each airline is reduced since some passengers choose not to fly because of FOF. However, this does not mean that profits of both airlines will be lower. An important airline implication from this analysis is that airlines can benefit from adjusting the network structure, price and frequency in accordance to passenger requirements, among others the one related to their fear of flying, which in turn might result in reaching a larger market.

Acknowledgement

This research has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, as a part of the projects, TR36033 and TR36047 (2011-2017).

REFERENCES

[1] Babić, D. (2015). Network structure and airline scheduling optimization. PhD thesis, University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade.

[2] Brueckner, J., & Zhang Y. (2001). A model of scheduling in airline networks. Journal of Transport Economics and Policy, 35 (2), 195-222.

[3] Brueckner, J., & Flores-Fillol R. (2007). Airline schedule competition. Review of Industrial Organization, Springer 30 (3), 161-177.

[4] Flores-Fillol, R. (2009). Airline competition and network structure. Transportation Research Part B: Methodological, 43 (10), 966-983.

[5] Oakes, M., & Bor, R. (2010). The psychology of fear of flying (part I): A critical evaluation of current perspectives on the nature, prevalence and etiology of fear of flying. Travel Medicine and Infectious Disease, 8, 327-338.

[6] Pels E. (2009). Network competition in the open aviation area. Journal of Air Transport Management, 15, 83-89.

[7] Silva, H. E., Verhoef, E. T., & Van den Berg, V. A. C. (2014). Airline route structure competition and network policy. Transportation Research Part B: Methodological, 67, 320-343.

[8] Swan, W. M. (1979). A system analysis of air transportation scheduled networks. Flight Transportation Laboratory Report R79-5, Massachusetts Institute of Technology.

[9] Van Gerwen, L.J., Diekstra, R.F.W., Arondeusa, J.M., & Wolfgerc, R. (2004). Fear of flying treatment programs for passengers: an international update. Travel Medicine and Infectious Disease, 2(1), 27-35.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SELECTING THE SIZE AND TYPE OF A VESSEL FOR THE PURPOSE OF MARITIME CONNECTION OF MAINLAND AND ISLANDS AS WELL AS BETWEEN THE ISLANDS IN CROATIA

MIRJANA KOVAČIĆ[1], ANTE MRVICA[2]

[1]Faculty of Maritime Studies, the University of Rijeka, Croatia, mirjana051@gmail.com
[2]Jadrolinija d.d., Rijeka, Croatia, ante.mrvica@gmail.com

Abstract: *Selecting the type of a vessel, depending on the route of the maritime journey, is very complex. As the process includes more dominant criteria, the main goal of sustainable island development is set in this research. Data collected by the survey, that was carried out during 2012/2014, enabled defining the criteria and sub-criteria for selecting vessels' size and type for the purpose of maritime connections between mainland and islands and between islands in Croatia. On second step by using the methodology of multi-criteria analysis (MCA) a general model is developed.*

Key words: *MCA, general model, mainland, islands, vessel's size and type*

1. INTRODUCTION

Maritime connection of mainland and islands and inter-insular connections in Croatia are not at a satisfactory level, which directly reflects upon the economic development and life of people living on the islands. An analysis of the present connections of mainland and islands as well as between islands was carried out with the purpose of finding out an appropriate solution for a rational and efficient maritime connection between these destinations. In this paper, the following hypothesis was formulated: it is possible to define the size and the type of a vessel that will be in function of connecting the mainland and islands and islands with each other by using methodology of MCA. The appropriate size and type of vessel has been chosen and a suitable model proposed.

2. EVALUATION OF CURRENT RESEARCH

A research of the issue of connecting the islands shows that there are some studies which offer partial solutions for certain ports and marinas, without taking into account others in a particular navigation area. The analysis of relevant material regarding maritime connectivity of the mainland and islands and islands with each other in Croatia, results in a small number of scientific papers. The State Program of Connecting Mainland and Islands and Islands with each other, published by the Ministry of the Sea, Tourism, Transport and Development in 2006, is the most prominent among the documents dealing with the issue of maritime connections.

3. METHODOLOGICAL APPROACH

There are several methods that can be used in problem solving, e.g. linear programming, AHP, ELECTREE, PROMETHEE, GAIA and others, and the author's experiences vary (Brans et al., 1986, Zeleny, 1992, Nikolić & Borović, 1996). The methods of linear programming allow for solving the problem at the operational level since it starts from minimum limitations of the system and with one or more aims, and criteria which assume a certain value (Roubens, 1982). The PROMETHEE method is supported by an adequate program support and is user-friendly. Since, in general, there are no best solutions when dealing with multi-criteria problems, the problem is reduced to determining a set of good alternatives, systems, locations, projects, etc. One of the most significant methods is the PROMETHEE method, designed by Brans and Vincke (1985). It is characterized by following three segments (Vincke, 1992):

- Coverage of the criteria. Conceiving the preferences of the decision-maker is designed in such a manner that each criterion is observed through six possible volumes (function of preference) based on the intensity of the preference.
- Estimated relation of a higher rank. The use of criteria formed in this way allows the construction of estimated relation of a higher rank.
- The use of a relation of a higher rank. This relates to considering a specific use of estimated relation of a higher rank, especially in the case when actions have to be ranked from the worst to the best.

When the PROMETHEE method is used for solving a problem of MCA, there are two basic results: partial and complete ranking of alternatives, which means ranking of all alternatives. However, in view of the fact that there are alternatives that cannot be correlated, the need for additional geometrical information about the behavior of alternatives according to specific criteria arises.

The GAIA program gives geometrical presentation of the results obtained through the PROMETHEE method. A multi-dimensional problem is reduced to a two-dimensional one so that a plain presentation is possible. By its nature, the dimension of a MCA is determined by a number of criteria (each criterion determines one vector in such area) and it is clear that, if a geometrical presentation is wanted, the problem has to be reduced to a two-dimensional presentation. When decreasing the number of dimensions, there is necessarily a certain loss of information about the problem. In order to have a lower loss, the plane in which the geometrical presentation is given is determined by two highest characteristic values of the co-variation matrix.

4. GENERAL MODEL FOR SELECTING THE SIZE AND TYPE OF VESSELS

The analysis of maintaining a regular transport service on a given maritime route included defining the navigation as a seasonal or whole-year navigation. To maintain the line by a ship: a classic passenger ship, RO-RO, combined catamaran or passenger catamaran, besides defining vessel's capacities, it is also important to select the type of a vessel that will be used for a specific maritime line.

4.1. Defining and Evaluating the Criteria

During 2012/2014, a comprehensive study of criteria was conducted in order to make a general model of selecting the size and type of a vessel (Mrvica et al, 2015). The research was carried out for the project "Criteria for the selection of the vessel's type and size" taking into account the stated theoretical premises and past researches of the criteria. The study included a number of Croatian and European experts in various fields related to the subject. The goal of the research was to determine, evaluate and rank the defined criteria and sub-criteria, to rank the proposed groups of criteria (table 1) and to propose other criteria or sub-criteria according to their expertise and experience. Criteria and sub-criteria are the following:

A. Institutional (STW, Solas): sailing on open sea more than 6m all year, sailing within sea waters during the season
B. Hydro – meteorological: the height of waves and wind speed, the number of days when the line doesn't work, the reliability of line's maintenance
C. Tehnical - tehnological: travelling speed (economic), passenger capacity, vehicle capacity, draft of the ship, port infrastructure (the length of the operative coast, area for stationary vehicles)
D. Economic: procurement price of ship (new or used), fuel consumption, price of a ticket, state support (subsidies), time of navigation, length of navigation route
E. Socio-cultural: direct benefits, indirect benefits, sustainable development of the island

The equation for calculating the weights of the criteria on the basis of their correlated ranking is (Kovačić, 2010):

$$w_j = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_{jk}}{\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{k=1}^{n} R_{jk}\right)} \quad ; \; R_{jk} \in \{m-i : i \in (1,..,m)\}, \tag{1}$$

where R_{jk} rank criteria j according to ranking of kth expert is:

$$R_{jk} = m-1 \text{ for the most important criterion}$$
$$\vdots \qquad (2)$$
$$R_{jk} = 0 \text{ for the least important criterion}$$

n – total number of experts, m – total number of criteria, w_j – the weight for the jth criterion.

After having made the ranking of criteria by applying the mentioned formula, weights have been obtained, see Table 1.

Table 1: Ranking the criteria weights

	criterion j	weight w_j
Institutional	A	0,1331
Hydro- meteorological	B	0,2902
Tehnical- tehnological	C	0,2146
Economic	D	0.2487
Socio-cultural	E	0,1134
Total	m=5	1,0000

It is visible from the table that the hydro-meteorological criterion has the highest rank, followed by the economic criterion. This is understandable as navigation conditions, i.e. the reliability of the line's functioning is very important for the development of the island and to keep the population on islands. When the above written equation is applied, criterion ranks are obtained.

$$(A - 5 \cdot I) \cdot W = 0 \qquad (3)$$

$$w_i > 0,\ i = 1, 2, \ldots, 5,\ \sum_{i=1}^{5} w_i = 1, \text{ where} \qquad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{25} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{51} & a_{52} & \ldots & a_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \ldots & w_1/w_5 \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \ldots & w_2/w_5 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ w_5/w_1 & w_5/w_2 & \ldots & w_5/w_5 \end{bmatrix},\ W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_5 \end{bmatrix},\quad I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

In this way, the vector of weight criteria has been obtained:

$$W = \begin{bmatrix} 0{,}092105 \\ 0{,}368421 \\ 0{,}223684 \\ 0{,}282895 \\ 0{,}032895 \end{bmatrix} \qquad (6)$$

Since all criteria don't have the same weight, a weighted preference index obtained by the equation of calculating the criteria weight, based on their mutual ranking, has been introduced. The function of the preference $P_j(a,b)$ in the general model is of type III, since it allows the decision maker to apply the progressive preference of „a“ over „b“ during the progressive growth of the difference between functions of criteria f(a) and f(b). The preference intensity is linearly increased until this difference equals with a certain parameter „p“ that can be determined in specific cases, and after that value the preference is strict. The criteria weights Wj are specific for each criterion j=1...5,.. (Table 1), hence, multi-criteria index of preference for $a, b \in A$ is defined as:

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^{5} W_j P_j(a,b)}{\sum_{j=1}^{5} W_j} \qquad (7)$$

where A is a set of possible actions (alternatives) of size and type of the vessel.

The directed graph, whose action knots are from A are such that, for every $a, b \in A$, sinuosity (a,b) has the value of its index of preference $\pi(a,b)$, is called estimated graph of higher rank, and it can be more easily calculated using the Decision Lab 2000 software.

4.2. The General Model of Selecting the Size and Type of the Vessel, Criteria and Sub-criteria

The general model of selecting the size and type of the vessel within a global analysis doesn't respond to important requirements in the case of selection of every specific vessel. For example, which vessel is the most convenient one in multi-criteria terms taking into account other criteria at appropriate levels, such as the highest capacity of passengers and vehicles, adequate procurement price, adequate safety and navigational characteristics and all of that with the lowest possible expenses. For this reason, a specific analysis is carried out to select the appropriate vessel by introducing sub-criteria and by ranking them. Based on the experts' evaluation, the following expression for sub-criteria is defined:

$$w_j = \frac{\sum_{k=1}^{n} w_{jk}}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n} w_{jk}} \text{ where } w_{jk} = \frac{\rho_{jk}}{\sum_{j=1}^{m} \rho_{jk}} \tag{8}$$

n – the total number of experts, m – the total number of sub-criteria, ρ_{jk} – the evaluation of kth expert for j^{th} sub-criterion, w_{jk} – the weight derived for j^{th} sub-criterion of kth expert, w_j – weight calculated for j^{th} sub-criterion.

Using the above expression, an equation of sub-criterion weight has been set based on their mutual ranking:

$$R_{jk} \in \{m - i : i \in (1,..,m)\} \tag{9}$$

where R_{jk} is the rank of j sub-criterion according to the ranking of kth expert

As the sub-criteria are analyzed at the second level, it is obvious that some sub-criteria have greater weight than can be seen from some of the criteria. Logically, this be explained by the number of sub-criteria as some criteria contain a greater number of sub-criteria than others. Furthermore, it is noted that sub-criteria B3, namely, the reliability of the line's maintenance, is most important to the majority of experts and is the first on the ranking list, followed by the sub-criterion A2 (sailing within sea waters during the season), sub-criterion C2 (passengers capacity), and other hydro-meteorological sub-criteria recognized as basic sub-criteria for navigation.

Results indicate the validity of choosing the methodology, since it is possible to select the appropriate size and type of the vessel according to a larger set of input data, defined sub-criteria and their evaluation. The reliability of the model has been tested on a concrete example and the results will be published in new paper.

5. NUMERICAL PROCESSING OF A PROBLEM BY APPLYING THE METHODS OF MCA

Using the selected procedures of MCA and analysis input data, the selection among four (4) generated variants (vessels) was done, by evaluating five (5) different groups of criteria and nineteen (19) dimensional sub-criteria in accordance to the defined plan of the examination.

5.1. Numerical processing of the problem by applying the PROMETHEE method

The selection of the appropriate vessel to connect the mainland with the islands and islands between one another is based on the selection of a vessel that meets certain criteria. Knowing all parameters and having data about them is not possible for the decision maker. The consequence of the above is the lack of structural data due to which the V-shape criterion type is selected. Thus, evaluated criteria and sub-criteria, with their maximum and minimum values defined, enable an overview of the implemented MCA procedure.

Data processed by the PROMETHEE I method show calculated Phi values, i.e. input (-) and output (+) flows, or the ratios of dominations of certain pairs of actions (figure 1). Partially vessel's ranking indicates that a combined catamaran has the highest neto flow, 0.37% and is in the first place, in front of the passenger catamaran and RO-RO ship that is on the third place and has a negative flow as well as the passenger's ship. It is noticed that a combined catamaran is the first on the ranking list. It dominates over other vessels, and it is incomparable with a passengers' boat.

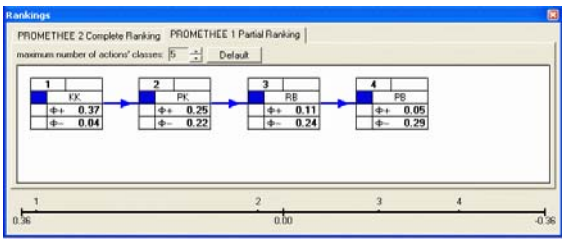


Figure 1: Results obtained by the PROMETHEE I method (partial ranking)

The results of the PROMETHEE II method allow a complete vessels' ranking. A combined catamaran is suitable for selecting it, followed by a passengers catamaran, and then by a RO-RO vessel. The last one is a passengers' ship over which the remaining types of vessels dominate. See figure 2

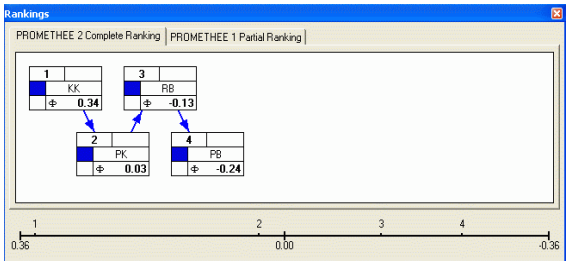


Figure 2: The results of the PROMETHEE II method (complete ranking)

It is essential to notice close net flows of a combined catamaran and passenger's catamaran, followed by a RO-RO ship that has a negative flow. It can be concluded that the first two vessels are suitable to be selected and that the decision depends on the decision maker and set goals.

5.2. Numerical processing of the problem by applying the Gaia method

In order to get a more detailed insight into the problem, a part of GAIA software support has been used, that provides a comprehensive insight into the criteria behavior using the geometric presentation of multi-criteria analysis.

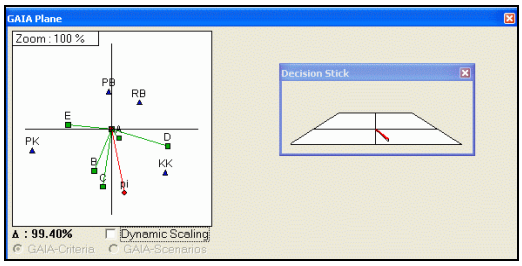


Figure 3: Criterion position in "u, v" plane

In figure 3, criteria are presented in a two-dimensional space, i.e. in the u, v plane, where their dispersion and the grouping of similar criteria is evident in terms of numerical values. Very homogeneous groups are made by hydro - meteorological (B) and technical - technological (C) criteria. The orientation of the economic (D) and the institutional (A) criteria towards the right side of the (u, v) plane, where the decision is located is also noticed. The B and C criterion on the left side of the plane indicates a conflict in some problem characteristics and the justification of using the multi-criteria analysis in the decision-making regarding the size and type of the vessel. Beside the criteria in u, v plane in relation to the axis of decision the vessels are shown. It is noteworthy that the combined catamaran is positioned on the right side of the plane, and the passenger catamaran on the left side of the plane indicating their similarity, but at the same

time the conflicting figures of certain characteristics. This, given the orientation of the decision axis the dominance of a combined catamaran over other vessels is justified. The separation of the RO - RO ship on the right side of the u, v plane is also noted and is a possible choice, but more data should be obtained after the analysis of the sub – criterion.

Monitoring the criteria weight, it is obvious that the criterion B (hydro-meteorological) has the highest importance, and weight. We conclude that in relation to the mentioned criterion, a combined catamaran represents an appropriate choice of the vessel to connect the mainland with the islands and for inter-insular connections (see figure 4).

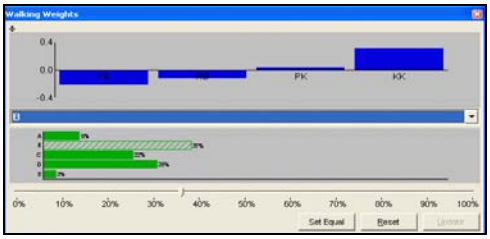


Figure 4: Simulation estimation "what if" („Walking Weights")

The importance of connecting mainland with islands and providing inter-insular connections in modern conditions is particularly emphasized, and thus the number of interested stockholders for achieving appropriate solutions. The transparency of available data used for the analysis is very important since it is possible to check if the parameters are properly valorized.

6. CONCLUSION

The basic purpose of maritime passenger traffic is to maintain a constant periodic connection between islands and mainland. A good connection between islands and mainland is the basic feature of living on islands. As the selection of type and size of the vessel is a complex one, the MCA method has been used. The aims have been set using the analytical method, and criteria were defined on the basis of defined goals. Subsequently, their evaluation was carried out with the help of expert opinions. The creation of a general research model included five (5) criteria groups and nineteen (19) sub-criteria. The results, as expected, indicated that the best choice is a combined catamaran or a passenger catamaran, which proved to be in accordance with the requirements.

The general model presented in this paper enables the adoption of the solution using the MCA method, i.e. selecting the appropriate size and type of the vessel for the purpose of connections between mainland and islands and inter-insular connection in Croatia.

LITERATURE

[1] Brans, J.P., Mareschal, B. & Vincke, P. (1986). How to Select and How to Rank Projects: The Promethee Method, European Journal of Operational Research, vol. 24, 228-238.

[2] Brans, J.P. & Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: The Promethee Method for Multiple Criteria Decision - making MCDM, Management Science, 31, 6., 647-656.

[3] Kovačić, M. (2010). Selecting the Location of a Nautical Tourism Port by Applying Promethee and Gaia Methods, Case Study – Croatian Northen Adriatic, Promet, Traffic&Transportation, Pardubice, Portorož, Sarajevo, Trieste, Zagreb, Žilina; Vol. 22, No. 5, 341-351.

[4] Ministarstvo mora, turizma, prometa i infrastrukture (2006). Državni program prometnog povezivanja otoka sa kopnom, otoka međusobno i unutarotočnog prometnog povezivanja. Zagreb.

[5] Mrvica, A., Jugović, A. & Kovačić, M. (2015). The Role and Applicability of Multi-criteria Procedures in the Function of Defining the Model for Connecting the Mainland and Islands and Islands in Between. Scientific Journal of Maritime Research, vol. 29, No.2, 156-164.

[6] Nikolić, I.& Borović, S. (1996). Višekriterijumska optimizacija – metode, primena u logistici, softver, Beograd: Vojno - izdavački zavod.

[7] Roubens, M. (1982). Preference relations on actions and criteria in multi-criteria decision making. European Journal of Operational Research, 10, 51-55.

[8] Vincke, Ph.(1992). Multi-criteria Decision-Aid, Chichester: John Wiley & Sons.

[9]Zeleny, M. (1992). Multiple Criteria Decision Making. New York: McGraw – Hill.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

JEDAN PRISTUP MODELIRANJU JAVNOG BICIKLISTIČKOG SISTEMA

AN APPROACH TO BICYCLE SHARING SYSTEM MODELING

MILORAD VIDOVIĆ[1], BRANKA DIMITRIJEVIĆ[1], ROSALIA CAMPOREALE[2], LEONARDO CAGGIANI[2],

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, mvidovic@sf.bg.ac.rs, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs
[2] Politecnico di Bari, rosalia.camporeale@poliba.it, leonardo.caggiani@poliba.it

Rezime: *U ovom radu je prikazan originalan model za dimenzionisanje javnog biciklističkog sistema kojim se određuje broj i raspored biciklističkih stanica, kao i broj bicikala i mesta za njihovo čuvanje, sa ciljem minimizacije troškova uspostavljanja i funkcionisanja sistema i sa idejom o izbalansiranom nivou usluge za sve korisnike. Dat je i ilustrativni primer.*

Ključne reči: *javne stanice za bicikle, lokacija stanica, dimenzionisanje stanica*

Abstract: *The original model for bicycle sharing system, used to determine the number and layout of bike stations, as well as the number of bicycles and racks, aiming to minimize the costs of system implementation and operation with the idea of balancing the level of service for all users, is developed and presented in this paper. An illustrative example is given.*

Keywords: *bicycle sharing, stations locating, stations dimensioning*

1. UVOD

Javni biciklistički sistemi (JBS) su poslednjih godina postali izuzetno popularan vid alternativnog individualnog gradskog prevoza. Tradicionalno, ovaj sistem se sastoji od biciklističkih stanica, koje su locirane (raspoređene) širom grada ili određenog gradskog područja. Biciklističke stanice obuhvataju bicikla, „kućišta“ za njihovo čuvanje/parkiranje (mesta sa kojih se bicikli preuzimaju, odnosno na koja se odlažu) i terminale za iznajmljivanje/naplatu. Postoje i druge koncepcije na kojima se zasniva ovaj sistem, poput sistema bez stanica, odnosno sa slobodnim izborom lokacija za odlaganje bicikala. Takođe, različite su opcije vlasništva i upravljanja ovim sistemima koje se mogu odraziti na cenu njihovog korišćenja [9]. JBS je zamišljen kao deo javnog gradskog prevoza kojim se prevaljuju relativno kratke distance i koji je nadgradnja postojećeg sistema javnog masovnog prevoza putnika. Korisnici zadužuju i preuzimaju raspoloživi bicikl iz bilo koje najbliže stanice izvorištu njihovog kretanja, zatim ga koriste za realizaciju kraćih putovanja i konačno razdužuju, ostavljajući ga na slobodnom parking mestu, na stanici najbližoj njihovom odredištu. Ovakav sistem oslobađa korisnike troškova posedovanja, održavanja i čuvanja bicikala [13].

Prvi „hipi“ koncept javnog biciklističkog sistema začet je u Amsterdamu 1967. godine, kada je 50 bicikala ofarbanih u belo ostavljeno na ulicama grada za besplatno korišćenje. Nakon nekoliko neuspešnih pokušaja za uspostavljanje ovih sistema, oni doživljavaju procvat i ekspanziju tokom poslednjih desetak godina, tačnije od 2007. godine sa implementacijom Velib biciklističkog sistema u Parizu koji se sastojao od 19000 bicikala i 1230 stanica. Nakon toga, razni evropski gradovi su uspostavili slične sisteme, a njihov uspeh se proširio i na tlo Severne Amerike, Azije i ostatka sveta. U maju 2015. godine, 880 gradova širom sveta je imalo javne biciklističke sisteme koji su raspolagali sa oko milion bicikala, pri čemu se 80% njih nalazilo u kineskim gradovima [9]. Ovaj trend rasta je i dalje prisutan.

Sve veći broj gradova obezbeđuje svojim stanovnicima i posetiocima JBS za realizaciju njihovih potreba za kretanjem, budući da prepoznaju brojne njegove prednosti: odsustvo štetnih uticaja na životnu sredinu (bez emisije štetnih gasova i buke), sredstvo za povezivanje ostalih vidova javnog gradskog prevoza i proširenje zone njihovog uticaja, smanjenje saobraćajnih zagušenja kao posledica korišćenja putničkih automobila, smanjenje infrastrukturnih troškova u poređenju sa ostalim vidovima transporta, kao i promocija boljeg i zdravijeg života u urbanim sredinama.

Uspeh JBS pre svega zavisi od jednostavnosti pronalaženja stanica koje bi trebalo da se nalaze na prihvatljivom rastojanju od izvora generisanja i odredišta gradskih kretanja. Takođe, ove stanice bi trebalo da raspolažu sa dovoljnim brojem bicikala i mesta za njihovo odlaganje, tako da se izbegnu situacije u kojima

korisnik dolazi na stanicu i ne nalazi bicikl, odnosno ne nalazi slobodno mesto za parkiranje gde bi odložio bicikl posle korišćenja [1]. Dodatno, raspored i gustina stanica mogu značajno da doprinesu i izbegavanju troškova redistribucije bicikala između stanica kao posledica vremenski i/ili prostorno neuravnotežene tražnje za raspoloživim biciklima i slobodnim parking mestima. U tom smislu, projektovanje i razvoj efikasnog javnog biciklističkog sistema predstavlja složen problem koji obuhvata: izbor koncepcije JBS i definisanje željenog nivoa usluge koji je opredeljen gustinom i rasporedom stanica, kao i njihovim kapacitetom (broj parking mesta i bicikala). Dakle, za efikasan JBS potrebno je odrediti broj i lokacije stanica, broj bicikala i parking mesta po stanicama, kao i potencijalno način redistribucije bicikala kojim će se izbalansirati stohastičnost tražnje za biciklima i parking mestima.

U ovom radu razvijen je i testiran jedan model celobrojnog linearnog programiranja kojim se određuje broj i raspored stanica, kao i broj bicikala i kućišta u njima, sa ciljem minimizacije troškova uspostavljanja i funkcionisanja JBS, za definisani nivo usluge. Rad je koncipiran na sledeći način: u narednom poglavlju dat je kratak pregled literature u ovoj oblasti, opis problema dat je u trećem poglavlju, njegova formulacija u četvrtom, ilustrativni primer u petom, a na kraju su data zaključna razmatranja i pravci daljeg istraživanja.

2. PREGLED LITERATURE

Generalno, u literaturi su prisutna tri pristupa u modeliranju JBS.

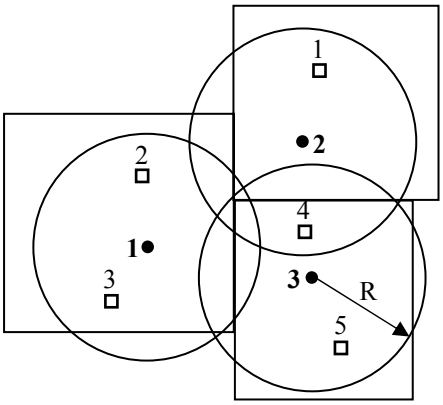
Prvi pristup se zasniva na minimizaciji troškova ili maksimizaciji profita. Na primer, u radu [6] autori su predložili model za određivanje optimalnih lokacija stanica i biciklističkih staza kojim se minimiziraju ukupni troškovi. U radu [10] predložen je dvonivojski model kojim se određuje broj i raspored stanica minimizirajući troškove JBS uz maksimizaciju broja njegovih korisnika. Pored minimizacije „uobičajenih“ troškova uspostavljanja i funkcionisanja JBS, autori rada [7] uveli su i troškove korisnika usled nezadovoljene tražnje. Sa druge strane, autori rada [12] modelirali su JBS maksimizirajući profit upravljača ovim sistemom bez razmatranja korisničkih troškova. Maksimizacija prihoda JBS je u osnovi modela za lociranje stanica koji su razvili autori rada [8] i testirali ga na primeru Lisabona.

Drugi pristup u modeliranju JBS zasniva se na minimizaciji vremena putovanja, odnosno dužine pređenog puta. U radu [2] minimizira se ukupno vreme putovanja svih korisnika JBS uz ograničenje na ukupna raspoloživa sredstva za uspostavljanje ovog sistema. Autori rada [5] su pored minimizacije ukupnog vremena, odnosno dužine putovanja korisnika, minimizirali i stepen preklapanja stanica postavljenih na različitim atraktivnim gradskim lokacijama.

Treći pristup u modeliranju JBS zasnovan je ili na maksimizaciji pokrivenosti korisničke tražnje ili na minimizaciji nezadovoljene korisničke tražnje. U radovima [3] i [4] autori su predložili modele u kojima se broj i raspored stanica JBS određuje maksimizirajući pokrivenost korisnika. U radu [11] broj i raspored stanica određuje se sa ciljem da se minimizira nezadovoljena korisnička tražnja, a da se ne prevaziđu raspoloživa investiciona sredstva.

3. OPIS PROBLEMA

Posmatra se gradska sredina koja je podeljena na administrativno-funkcionalne celine, odnosno distrikte. Svaki distrikt predstavljen je centroidom (čvorom tražnje). Na Slici 1 prikazana su tri distrikta čiji su centroidi označeni crnim kružićima. Pretpostavlja se da postoje definisane potencijalne lokacije za biciklističke stanice, koje su na Slici 1 označene kvadratićima. Poznato je i najveće prihvatljivo pešačko rastojanje za korisnike između centroida i biciklističkih stanica i obratno (R).



Slika 1: Šematski prikaz distrikata, centroida i biciklističkih stanica

Sa Slike 1 se može uočiti da jedan distrikt može imati više stanica, kao što ista stanica može biti dostupna većem broju centroida.

Kvantifikovane su vrednosti ukupne tražnje za korišćenje bicikala između svakog para centroida. S obzirom da se ove vrednosti menjaju, kako po danima, tako i u toku jednog dana, u ovom modelu se pošlo od pretpostavke da se mogu ustanoviti njihove merodavne vrednosti, poput tražnji u vršnom periodu.

Da bi se formulisao problem određivanja optimalnog broja i rasporeda stanica, kao i broja bicikala i parking mesta po stanicama, sa ciljem minimizacije ukupnih troškova uspostavljanja i funkcionisanja JBS, potrebno je što realnije proceniti sledeće jedinične troškove: nabavke bicikla, nabavke i održavanja kućišta za bicikl, pešačenja biciklista između centroida i biciklističkih stanica, kao i vožnje bicikla između stanica. Kako je u modelu predstavljenom u ovom radu ideja da svi korisnici iz različitih distrikata imaju približno jednak nivo usluge iskazan kroz broj raspoloživih bicikala u skladu sa tražnjom koja se generiše u njima, potrebno je definisati dozvoljenu toleranciju između distrikata u pogledu broja bicikala po jediničnoj tražnji za vožnjom.

U sledećem poglavlju data je notacija prethodno uvedenih pojmova i veličina, koja će biti korišćena u formulaciji problema.

4. FORMULACIJA PROBLEMA

U formulaciji problema korišćena je sledeća notacija:

Skupovi i parametri:

- B – skup potencijalnih lokacija biciklističkih stanica
- $k,l \in B$ – indeksi potencijalnih lokacija biciklističkih stanica
- D – skup izvorišnih/odredišnih distrikata (centroida)
- $i,j,s,t \in D$ – indeksi distrikata (centroida)
- R – maksimalno prihvatljivo rastojanje između biciklističkih stanica i centroida
- d_{ik}, d_{kl}, d_{lj} – rastojanja između čvorova i i k, k i l, odnosno l i j
  $B_i = \{k \mid d_{ik} \le R\}$; $B_i \subseteq B$ – skup potencijalnih lokacija biciklističkih stanica koje su na prihvatljivom rastojanju od centroida
- $D_k = \{i \mid d_{ik} \le R\}$; $D_k \subseteq D$ – skup centroida koji su na prihvatljivom rastojanju od potencijalnih lokacija biciklističkih stanica k
- f_{ij} – ukupna korisnička tražnja iz čvora i do čvora j
- c_b – troškovi nabavke bicikla svedeni na dnevni nivo
- c_r – troškovi nabavke i održavanja parking mesta za bicikl svedeni na dnevni nivo
- c_w – troškovi pešačenja biciklista po jedinici rastojanja
- c_{rb} – troškovi vožnje bicikla po jedinici rastojanja
- α – dozvoljena tolerancija između distrikata u pogledu broja bicikala po jediničnoj tražnji za vožnjom

Promenljive:

- x_{iklj} – broj vožnji između centroida i i j, preko stanica k i l
- b_k – potreban broj bicikala na stanici k
- r_k – potreban broj parking mesta bicikala na stanici k

Formulacija problema:

$$\min \quad \sum_{k\in B} c_b b_k + \sum_{k\in B} c_r r_k + \sum_{i\in D}\sum_{k\in B_i}\sum_{\substack{l\in B_j \\ l\neq k}}\sum_{\substack{j\in D \\ j\neq i}} x_{iklj}\left[c_w(d_{ik}+d_{lj}) + c_{rb} d_{kl}\right] \tag{1}$$

$$\sum_{k\in B_i}\sum_{l\in B_j} x_{iklj} = f_{ij} \qquad \forall i\in D,\ j\in D,\ i\neq j,\ k\neq l \tag{2}$$

$$\sum_{i\in D_k}\sum_{\substack{l\in B \\ l\neq k}}\sum_{\substack{j\in D_l \\ j\neq i}} x_{iklj} \le b_k \qquad \forall k\in B \tag{3}$$

$$\sum_{j\in D_l}\sum_{\substack{k\in B \\ k\neq l}}\sum_{\substack{i\in D_k \\ i\neq j}} x_{jlki} \le r_l - b_l \qquad \forall l\in B \tag{4}$$

$$\left| \frac{1}{\sum_j f_{ij}} \sum_{k \in B_i} b_k - \frac{1}{\sum_i f_{ji}} \sum_{k \in B_j} b_k \right| \le \alpha \quad \forall i \in D, j \in D, \quad i \ne j \tag{5}$$

$$x_{iklj}, b_k, r_k \in N_0 \quad \forall i \in D, j \in D, k \in B, l \in B \tag{6}$$

Funkcija cilja (1) teži da minimizira ukupni dnevni trošak uzrokovan uspostavljanjem javnog biciklističkog sistema. Prva dva sabirka u funkciji cilja predstavljaju dnevne troškove postojanja javnog biciklističkog sistema, a treći se odnosi na dnevne troškove vezane za njegovo korišćenje. Ograničenjima (2) opisuje se konzervacija tokova u sistemu, gde ukupan broj vožnji između stanica koje pripadaju području izvornog centroida i stanica u području odredišnog centroida mora biti jednak ukupnoj korisničkoj tražnji za vožnjama između tih centroida. Broj bicikala i broj kućišta u svakoj stanici mora zadovoljiti ukupnu tražnju (3)-(4). Ograničenjima (5) se postiže da razlika u broju bicikala po jediničnoj tražnji po distriktima ne bude veća od dozvoljene. Ograničenja (6) definišu promenljive kao prirodne brojeve.

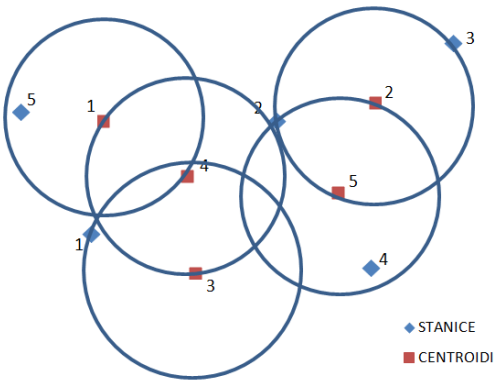
Ograničenja (5), u kojima figuriše apsolutna vrednost, mogu se linearizovati transformacijom koja generiše sledeća dva skupa ograničenja:

$$\frac{1}{\sum_j f_{ij}} \sum_{k \in B_i} b_k - \frac{1}{\sum_i f_{ji}} \sum_{k \in B_j} b_k \le \alpha \quad \forall i, j \quad i \ne j \tag{5a}$$

$$\frac{1}{\sum_i f_{ji}} \sum_{k \in B_j} b_k - \frac{1}{\sum_j f_{ij}} \sum_{k \in B_i} b_k \le \alpha \quad \forall i, j \quad i \ne j \tag{5b}$$

5. ILUSTRATIVNI PRIMER

Predloženi model testiran je na ilustrativnom, slučajno generisanom, primeru sa pet centroida i pet javnih stanica sa biciklima i parking mestima (Slika 2).



Slika 2: Ilustrativni primer prostornog rasporeda centroida i stanica

Distance između čvorova mreže odgovaraju euklidskim rastojanjima, dok su intenziteti tokova između centroida slučajno generisani u opsegu 2 - 5 zahteva za vožnjama u posmatranom intervalu, koji su zajedno sa koordinatama čvorova prikazani grupom tabela (Tabela 1). Troškovi nabavke bicikla svedeni na dnevni nivo iznose c_b = 0,02; troškovi nabavke i održavanja parking mesta za bicikl svedeni na dnevni nivo, iznose c_r = 0,05; troškovi pešačenja biciklista po jedinici rastojanja c_w = 2,5; troškovi vožnje bicikla po jedinici rastojanja c_{rb} = 0,1; Maksimalno prihvatljivo rastojanje centroida i stanica je R = 0,5 (prikazano krugom). Dozvoljena tolerancija između distrikata u pogledu broja bicikala po jediničnoj tražnji za vožnjom (α) varirana je u opsegu od 2 do 6, a razmatran je i slučaj nepostojanja ovog ograničenja. Pri tome, u slučaju prisustva ovih ograničenja, rešenja su dobijena samo za vrednosti $\alpha \ge 4$.

Predloženi matematički model testiran je korišćenjem softvera CPLEX 12.6, na 64-bitnom računaru 2,30 GHz Intel Core i7 - 4712MQ sa 6 Gb RAM memorije. Budući da je reč o problemu malih dimenzija, sa 39 promenljivih i 70 ograničenja, vremena rada računara su zanemarljiva.

Tabela 1: Intenziteti tokova i koordinate čvorova

f_{ij}	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	4	5	2	2	3
2	5	4	4	4	2
3	2	5	5	5	3
4	5	4	3	5	4
5	4	3	4	4	2

Koordinate stanica	**X**	**Y**
1	0,3048	0,8854
2	0,7000	1,5000
3	1,0767	1,9238
4	0,9000	0,7000
5	0,1564	1,5498

Koordinate centroida	**X**	**Y**
1	0,3313	1,4963
2	0,9100	1,6000
3	0,5259	0,6700
4	0,5100	1,2000
5	0,8300	1,1100

Rezultati primene modela na prikazanom test primeru dati su u Tabelama 2 i 3.

Tabela 2: Primeri vrednosti promenljivih broja vožnji između centroida za neke vrednosti α

Vrednosti promenljivih broja vožnji (Bez ograničenja tolerancije) Fja. cilja = 185,31		Vrednosti promenljivih broja vožnji (α=4,6) Fja. cilja = 196,81		Vrednosti promenljivih broja vožnji (α=6) Fja. cilja = 185,31	
X1522	5,0	X1522	5,0	X1522	5,0
X1513	5,0	X1513	5,0	X1513	5,0
X1524	2,0	X1524	2,0	X1524	2,0
X1545	3,0	X1545	3,0	X1545	3,0
X2251	5,0	X2351	5,0	X2351	5,0
X2213	4,0	X2213	4,0	X2213	4,0
X2214	4,0	X2214	4,0	X2214	4,0
X2245	2,0	X2345	2,0	X2345	2,0
X3151	2,0	X3151	2,0	X3151	2,0
X3122	5,0	X3122	5,0	X3122	5,0
X3154	5,0	X3154	5,0	X3154	5,0
X3145	3,0	X3145	3,0	X3145	3,0
X4251	5,0	X4251	5,0	X4251	5,0
X4122	4,0	X4122	4,0	X4122	4,0
X4213	3,0	X4213	3,0	X4213	3,0
X4245	4,0	X4245	4,0	X4245	4,0
X4125	4,0	X4125	4,0	X4125	4,0
X5451	4,0	X5451	4,0	X5451	4,0
X5422	3,0	X5422	3,0	X5422	3,0
X5413	4,0	X5413	4,0	X5413	4,0
X5414	4,0	X5414	4,0	X5414	4,0

Tabela 3: Optimalne lokacije stanica, potreban broj bicikala i parking mesta

Bez ograničenja tolerancije				α=4,6				α=5				α=5,5				α=6			
b_1	23	r_1	47	b_1	23	r_1	47	b_1	23	r_1	47	b_1	23	r_1	47	b_1	23	r_1	47
b_2	22	r_2	45	b_2	15	r_2	38	b_2	18	r_2	41	b_2	22	r_2	45	b_2	22	r_2	45
b_3	-	r_3	-	b_3	7	r_3	7	b_3	4	r_3	4	b_3	-	r_3	-	b_3	-	r_3	-
b_4	15	r_4	27	b_4	20	r_4	32	b_4	18	r_4	30	b_4	17	r_4	29	b_4	15	r_4	27
b_5	15	r_5	31	b_5	15	r_5	31	b_5	16	r_5	32	b_5	18	r_5	34	b_5	15	r_5	31
∑	**75**	∑	**150**	∑	**80**	∑	**155**	∑	**79**	∑	**154**	∑	**80**	∑	**155**	∑	**75**	∑	**150**

Na osnovu Tabele 2 može se ustanoviti da postoji određeni uticaj dozvoljene tolerancije u broju bicikala na realizaciju tokova između izvorišnih i odredišnih čvorova, dok je uticaj na broj stanica, odnosno na broj bicikala i parking pozicija, značajan (Tabela 3), čak i u ovom ilustrativnom primeru malih dimenzija. Dakle, model, odnosno primenjeni koncept je obećavajući, a definisanje vrednosti pojedinih parametara modela očigledno zahteva ozbiljnu analizu.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan originalan model za dimenzionisanje javnog biciklističkog sistema kojim se određuju lokacije, broj i raspored biciklističkih stanica, sa jedne, i broj bicikala i mesta za njihovo čuvanje, sa druge strane. Predložen je linearni model matematičkog programiranja čiji cilj je minimizacija troškova uspostavljanja i funkcionisanja sistema, pri čemu je odgovarajućim skupom ograničenja respektovana i ideja o izbalansiranom nivou usluge za sve korisnike. Koncept funkcionisanja modela baziran je na ilustrativnom primeru manjih dimenzija koji je omogućio validaciju predloženog pristupa. Pokazano je da predloženi pristup može poslužiti kao dobar osnov za optimalan razvoj javnog biciklističkog sistema. Naravno, buduća istraživanja je potrebno usmeriti u više pravaca. Proveru funkcionalnosti modela na mrežama većih dimenzija, bliskih realnim zahtevima, utvrđivanju adekvatnih vrednosti ulaznih veličina i parametara, kao i razvoju heurističkih pristupa jer je teško očekivati da će problemi realnih dimenzija moći biti rešavani optimalno.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije, kroz projekat TR36006 za period 2011-2017.

LITERATURA

[1] Alvarez-Valdes, R., Belenguer, J. M., Benavent, E., Bermudez, J. D., Muñoz, F., Vercher, E., & Verdejo, F. (2016). Optimizing the level of service quality of a bike-sharing system. Omega, 62, 163-175.

[2] Chen, Q., & Sun, T. (2015). A model for the layout of bike stations in public bike□sharing systems. Journal of Advanced Transportation, 49(8), 884-900.

[3] Frade, I., & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: A maximal covering location approach. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 82, 216-227.

[4] García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Latorre, M. (2012). Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach. Applied Geography, 35(1), 235-246.

[5] Guo, T. Y., Zhang, P., Shao, F., & Liu, Y. S. (2014). Allocation optimization of bicycle-sharing stations at scenic spots. Journal of Central South University, 21, 3396-3403.

[6] Lin, J. R., & Yang, T. H. (2011). Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints. Transportation research part E: logistics and transportation review, 47(2), 284-294.

[7] Lin, J. R., Yang, T. H., & Chang, Y. C. (2013). A hub location inventory model for bicycle sharing system design: Formulation and solution. Computers & Industrial Engineering, 65(1), 77-86.

[8] Martinez, L. M., Caetano, L., Eiró, T., & Cruz, F. (2012). An optimisation algorithm to establish the location of stations of a mixed fleet biking system: an application to the city of Lisbon. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 54, 513-524.

[9] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). Between Public and Private Mobility: Examining the Rise of Technology-Enabled Transportation Services. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/21875.

[10] Romero, J. P., Ibeas, A., Moura, J. L., Benavente, J., & Alonso, B. (2012). A simulation-optimization approach to design efficient systems of bike-sharing. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 54, 646-655.

[11] Saharidis, G. K. D., Fragkogios, A., & Zygouri, E. (2014). A multi-periodic optimization modeling approach for the establishment of a bike sharing network: A case study of the City of Athens. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol. 2).

[12] Sayarshad, H., Tavassoli, S., & Zhao, F. (2012). A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization. Applied Mathematical Modelling, 36(10), 4944-4951.

[13] Shaheen, S., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2143, 159-167.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

UTICAJ „FILTRIRANJA“ PARCIJALNE SAOBRAĆAJNE STRUJE NA KAPACITET SIGNALISANE RASKRSNICE

THE INFLUENCE OF PERMITED LEFT TURNS OF TRAFFIC MOVEMENT ON SIGNALIZED INTERSECTION CAPACITY

BRATISLAV LAZIĆ[1], BATANOVIĆ VLADAN[1], PETROVIĆ RADIVOJ[1], GUBERINIĆ SLOBODAN[1]

[1] Institut Mihailo Pupin, bratislav.lazic@pupin.rs

Rezime: *U radu je prikazan metod za određivanje optimalnog signalnog plana na signalisanoj raskrsnici. Razmatra se problem u kome se jedna saobraćajna struja sastoji od više parcijalnih saobraćajnih struja, a neke od njih se filtriraju kroz struje višeg prioriteta. Kriterijum optimalnosti je kapacitet struje, koja se sastoji od dve parcijalne struje, od kojih se jedna filtrira kroz struju višeg prioriteta. Primenom metoda kombinatorne optimizacije određuje se optimalno rešenje, odnosno optimalna struktura i optimalna raspodela trajanja ciklusa, optimalnog signalnog plana.*

Ključne reči: *Upravljanje saobraćajem, Teorija grafova, Kombinatorna optimizacija.*

Abstract: *This document presents a method for determination optimal signal plan for traffic control on signalized intersection. In the paper has been considered problem of traffic control on intersection with one shared lane. One movement filters through the stream of higher priority. The optimization criterion is the capacity of traffic stream composed of two movements. One of these two movements filters through the stream of higher priority. Optimal solution i.e. optimal structure and optimal cycle time split are determined using combinatorial metod.*

Keywords: *Traffic control, Graph theory, Combinatorial optimization.*

1.UVOD

Optimalno upravljanje saobraćajem na signalisanoj raskrsnici, odnosno optimalan signalni plan, može da se odredi optimizacijom različitih kriterijuma [1].
Često se koriste sledeći kriterijumi: teorijski kapacitet, praktični kapacitet, faktor kapaciteta, matematičko očekivanje čekanja, matematičko očekivanje broja zaustavljanja vozila, suma kvadrata razlika stepena zasićenja itd.
Neka ograničenja, kojima se definiše oblast dopustivih signalnih planova odnose se na strukturu signalnog plana, a neka na raspodelu trajanja ciklusa. Ograničenje redosleda upravljačkih vektora definiše se grafom sleđenja upravljačkih vektora [1]. Skup upravljačkih vektora (čvorova grafa sleđenja), u ovom slučaju sastoji se od skupa vektora kojima se daje pravo kretanja kompatibilnim strujama, kome se priključuju upravljački vektori kojima se omogućuje da se saobraćajne struje, koje uslovno skreću, filtriraju kroz struje višeg prioriteta. To znači da, pod određenim strukturnim uslovima, dve konfliktne saobraćajne struje mogu biti i kompatibilne. Pritom se vozila, koja uslovno skreću, filtriraju kroz prioritetnu struju kad su vremena sleđenja vozila u prioritetnoj struji dovoljna za njihov prolazak.
Vozilo struje višeg prioriteta ne sme da naiđe, u konfliktnoj tački, na prepreku, koju predstavlja vozilo nižeg prioriteta. *Stoga je potrebno, prvo dati pravo kretanja prioritetnoj struji, pa zatim, po pražnjenju reda koji formiraju vozila ove struje, dati pravo kretanja istovremeno obema strujama.*
Uticanje na redosled upravljačkih vektora, tako da vektori kojima se daje pravo kretanja strujama višeg prioriteta prethode upravljačkim vektorima, kojima se daje pravo kretanja konfliktnim strujama, ima za posledicu pojavu orijentisanih grana u grafu sleđenja faza.

2. POSTAVKA PROBLEMA

Upravljanje saobraćajem na jednoj signalisanoj raskrsnici definisano je izrazom:

$$u(\cdot) = \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \tau \end{bmatrix} = (\mathbf{u}, \tau)^T = \begin{bmatrix} (\mathbf{u}^1, \mathbf{u}^2, ..., \mathbf{u}^k, ..., \mathbf{u}^{\mathrm{K}}) \\ (\tau^1, \tau^2, ..., \tau^k, ..., \tau^{\mathrm{K}}) \end{bmatrix}$$

gde je **u** struktura signalnog plana, odnosno

$$\mathbf{u} = [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \ldots, \mathbf{u}_p, \ldots, \mathbf{u}_{\mathrm{P}}]^T ,$$

pri čemu je

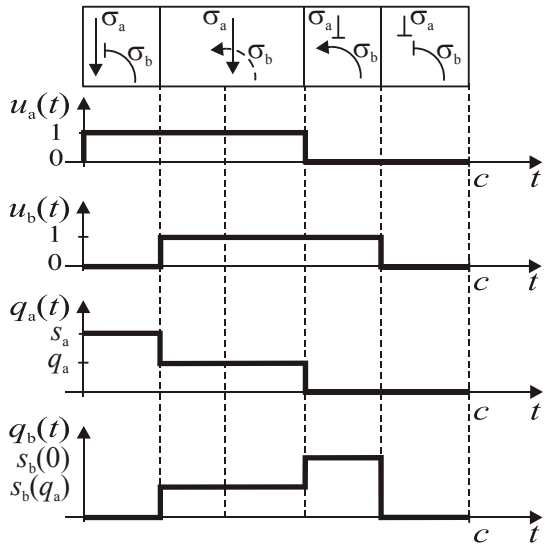
$$\mathbf{u}^k = (u_1^k, u_2^k, ..., u_p^k, ..., u_{\mathrm{P}}^k)^T ,$$

gde je u_p^k vrednost upravljačke promenljive koja upravlja signalnom grupom p u intervalu k, a vrednosti ove promenljive su 0 ili 1, a

$$\tau = [\tau^1, \tau^2, \ldots, \tau^k, \ldots, \tau^{\mathrm{K}}] ,$$

predstavlja raspodelu trajanja ciklusa.

Ograničenje redosleda upravljačkih vektora, tako da struja višeg prioriteta dobije pravo kretanja pre kretanja struje koja je sa njom konfliktna i kompatibilna, prikazano je na Sl.1. U zadatak određivanja optimalnog signalnog plana, u ovom radu, uključeno je ovo ograničenje.



Slika 1: Filtriranje struje σ_b kroz struju σ_a

Dopustiv skup signalnih planova je definisan sledećim ograničenjima (za slučaj kad filtriranje nije dozvoljeno):

a) 0graničenja jedinstvenosti intervala zelenih indikacija signalnih grupa:

$$\sum_{k=1}^{K}(u_p^k + u_p^{k(\mathrm{mod}\,K)+1})(\mathrm{mod}\,2) = 2\,;\ (\,p \in \mathsf{P}\ \ );$$

b) Ograničenja redosleda upravljačkih vektora:

$$\mathbf{u}^{k(\mathrm{mod}\,K)+1} \in \Gamma_s \mathbf{u}^k\,;\ (\,p \in \mathsf{P}\ \ );$$

c) c) Ograničenja trajanja minimalnih efektivnih zelenih vremena:

$$\sum_{k=1}^{K} u_p^k \tau^k \geq g_{mp}\,,\ (\,p \in \mathsf{P}\ \ ).;$$

d) Ograničenja minimalnih međuzelenih vremena:

$$\sum_{l=1}^{l=\alpha-1} \tau^{K-(K+l-k)\,\mathrm{mod}\,K} \geq z^f(\mathbf{u}^{K-(K+\alpha-k)(\mathrm{mod}\,K)}, \mathbf{u}^{k(\mathrm{mod}\,K)+1})\ \alpha \in \mathsf{A}\,'(\mathbf{u}^{K-(K+\alpha-k)(\mathrm{mod}\,K)}, \mathbf{u}^{k(\mathrm{mod}\,K)+1})\,,$$

e) Ograničenja maksimalnih crvenih vremena:

$$\sum_{k=1}^{K}(1-u_q^k)\tau^k \leq r_{Mq}\ ;\ q \in \mathsf{P}^{\ M}$$

f) f) Ograničenja balansa protoka:

$$\sum_{k=1}^{K} u_p^k \tau^k \geq \gamma_p$$

g) Ograničenja ukupnog zbira trajanja faza:

$$\sum_{k=1}^{K} \tau^k = c$$

U slučaju kad je filtriranje dozvoljeno za struje koje su konfliktne i kompatibilne potrebno je dodati sledeća ograničenja :

h) Ograničenja balansa protoka struje σ_a ,koja je višeg prioriteta od struje σ_b (struje σ_a i σ_b su istovremeno i signalne grupe $D'_a = \{\sigma_a\}$, $D'_b = \{\sigma_b\}$):

$$\sum_{k=1}^{K}(s_a u_a^k(1-u_b^k) + q_a u_a^k u_b^k)\,\tau^k \geq c\,q_a$$

i) Uslov pražnjenja reda struje σ_a ,pre istovremenog davanja prava kretanja signalnim grupama D'_a i D'_b :

$$\sum_{k=1}^{K}((1-u_a^k u_b^k)q_a - u_a^k(1-u_b^k)s_a)\,\tau^k \geq 0\,.$$

j) Ograničenja balansa protoka struje nižeg prioriteta σ_b koja se filtrira kroz struju σ_a višeg prioriteta:

$$\sum_{k=1}^{K}\left(u_a^k u_b^k A_1 + u_b^k\left(1-u_a^k\right)A_2\ \ \right)t^k \geq q_b c$$

Protok zasićenja struje nižeg prioriteta u funkciji protoka prioritetne struje definiše se izrazom:

$$s_b = s_b(q_a) = \frac{q_a e^{-\alpha' q_a}}{1-e^{-\beta_b q_a}}\,.$$

gde je

q_a - srednji protok vozačke struje σ_a , višeg prioriteta,

α' - minimalan prihvatljiv interval sleđenja ($\alpha' = (4{,}5 \div 5)\,\mathrm{s}$),

β_b -minimalan interval sleđenja koji odgovara protoku zasićenja $s_b = s_b(0)$ i koji je jednak $\beta_b = \dfrac{1}{s_b(0)}$.

Izrazi za ograničenja, kad se dozvoljava filtriranje, važe i u slučaju kad je struja nižeg prioriteta σ_b *parcijalna struja.*

U ovom radu se rešava problem maksimizacije kapaciteta saobraćajne struje koja se sastoji od više parcijalnih saobraćajnih struja. Pritom se jedna parcijalna struja filtrira kroz struju višeg prioriteta.

Poređenjem optimalnih rešenja za slučajeve kad se filtriranje dozvoljava i kad se ne dozvoljava moguće je odrediti koliko se poboljšavaju indeksi performanse raskrsnice filtriranjem.

Kriterijum optimalnosti, koji je u ovom slučaju kapacitet saobraćajne struje, koja se sastoji od više parcijalnih saobraćajnih struja, dat je sledećim izrazom:

$$J = \omega_b^s = \frac{1}{c}\sum_{k=1}^{K}\left(u_a^k u_b^k A_1 + u_b^k\left(1-u_a^k\right)A_2\right)t^k \text{, gde su}$$

$$A_1 = \frac{1}{\dfrac{p_{b,1}}{s_b} + \dfrac{p_{b,2}}{s_{b,2}^{\lambda}}};\; s_{b,2}^{\lambda} = \frac{q_a e^{-\alpha q_a}}{1-e^{-\beta q_a}};\;\; A_2 = \frac{1}{\dfrac{p_{b,1}}{s_b} + \dfrac{p_{b,2}}{s_b}} = s_b\,.$$

Za formulaciju ograničenja *j)* i kriterijuma optimalnosti korišćena je *Hardersova formula* [2], koja se još uvek primenjuje i daje dobre rezultate.

Zadatak se formuliše na sledeći način: *Odrediti signalni plan za koji se dobija optimalna vrednost kriterijuma optimalnosti J pri navedenim ograničenjima.*

3. METOD REŠAVANJA

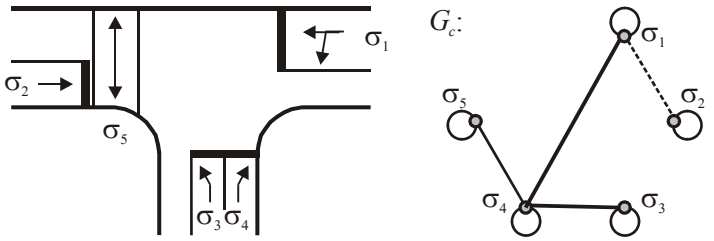
Zadatak određivanja optimalnog signalnog plana uključuje određivanje optimalne strukture i optimalne raspodele trajanja ciklusa i svodi se na određivanje optimalnog zatvorenog puta na grafu sleđenja upravljačkih vektora. Optimalni zatvoreni put na grafu sleđenja faza određuje se metodom grananja i ograničavanja. U slučaju dozvoljenog filtriranja skupu dopustivih upravljačkih vektora dodaju se upravljački vektori kod kojih je $u_a^k u_b^k = 1$, za bilo koje *k,* iako su u_a^k i u_b^k komponente konfliktnih upravljačkih vektora.

Zadaci određivanja gornjih granica u metodu grananja i ograničavanja, kao i određivanje optimalnog rešenja predstavljaju u opštem slučaju zadatke matematičkog programiranja [3].

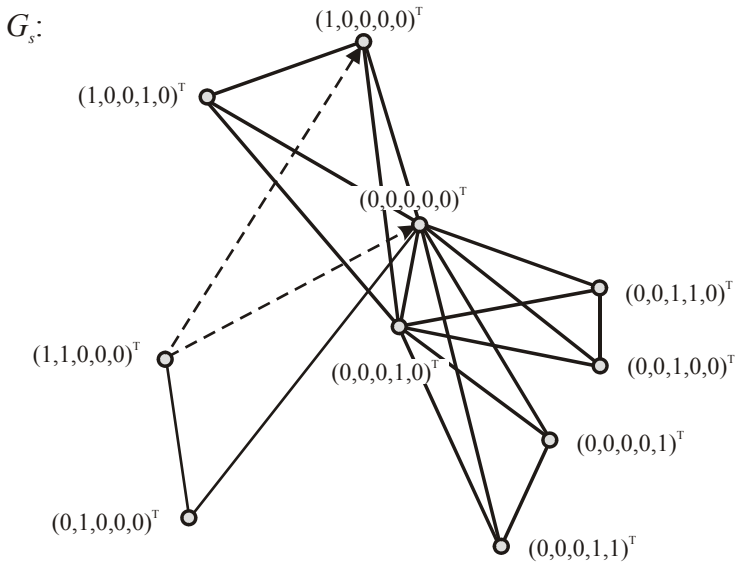
4. PRIMER

Za raskrsnicu prikazanu na Slici 2. Prikazani su na slikama 3. i 4. grafovi kompatibilnosti isleđenja upravljačkih vektora. U ovom primeru struju σ_b koja se sastoji iz više parcijalnih struja, predstavlja struja σ_1, a struju višeg prioriteta σ_a, predstavlja struja σ_2.

Za raskrsnicu prikazanu na Slici 2., prikazani su na slikama 2 i 3 grafovi kompatibilnosti i sleđenja upravljačkih vektora. U ovom primeru struju σ_b koja se sastoji iz više parcijalnih struja, predstavlja struja σ_1, a struju višeg prioriteta σ_a, predstavlja struja σ_2. Trajanje ciklusa je 90 s.



Slika 2: Izgled raskrsnice i graf kompatibilnosti



Slika 3: Graf sleđenja

Tabela 1: Matrica međuzelenih vremena

Sig. gr.	1	2	3	4	5
1		2	4		4
2	3		3	5	5
3	2	2			2
4		1			
5	6	8	6		

Tabela 2: Ostali podaci o raskrsnici

sig. gr.	g_{mp} [s]	r_{Mq} [s]	s [voz/h]	q [voz/h]
1	15	75	1800	180
2	15	75	1800	180
3	15	75	1620	162
4	15	75	1650	165
5	10	80	-	-

Tabela 3: Optimlni signalni plan

Sa filtriranjem		Bez filtriranja	
u	τ	**u**	τ
0 1 0 0 0	4.22	0 1 0 0 0	15
1 1 0 0 0	47.78	0 0 0 0 0	3
1 0 0 0 0	1	1 0 0 0 0	34
0 0 0 0 0	4	1 0 0 1 0	1
0 0 0 0 1	10	0 0 0 1 0	4
0 0 0 0 0	6	0 0 0 1 1	10
0 0 1 1 0	15	0 0 0 1 0	6
0 0 0 0 0	2	0 0 1 1 0	1
		0 0 1 0 0	14
	J=22.7585	0 0 0 0 0	2
			J=17.5

5.ZAKLJUČAK

Metod koji se izlaže u radu omogućava da se odredi signalni plan na signalisanoj raskrsnici, kojim se maksimizira kapacitet struje koja se sastoji od više parcijalnih saobraćajnih struja. Određivanje optimalne strukture i optimalne raspodele trajanja ciklusa svodi se na određivanje optimalnog zatvorenog puta na grafu sleđenja upravljačkih vektora (faza). Graf sleđenja faza, u ovom slučaju, sadrži i orijentisane grane, koje nisu prisutne u grafu sleđenja, kad se ne dozvoljava filtriranje jednih struja kroz druge.
Primena metoda je prikazana na primeru određivanja optimalnog signalnog plana, kojim se maksimizira kapacitet saobraćajne struje koja se sastoji od dve parcijalne saobraćajne struje, od kojih se jedna filtrira kroz struju višeg prioriteta. Pokazano je da je povećanje maksimalnog kapaciteta, veće od 20 % .

6. LITERATURA

[1] Guberinić, S., Šenborn, G., Lazić, *Optimal Traffic Control: Urban Intersections,* CRC Press, Taylor & Francis , Boca Raton 2008.

[2] R. Tapio Luttinen, C*apacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections,* Finnish Road Administration, Helsinki, 2004.

[3] Zlobec, S., Petrić, J., *Nelinearno programiranje,* Naučna knjiga, Beograd, 1989.

2017

SIMULACIJA I STOHASTIČKI MODELI

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

DETERMINATION OF PARAMETERS OF BREAKDOWN TIME DELAY DISTRIBUTION BY EXPECTATION MAXIMIZATION ALGORITHM

BILJANA POPOVIĆ[1], ALEKSANDAR JOVANOVIĆ[2], VIDOSAV MARKOVIĆ[3]

[1] Department of Mathematics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, bipop@pmf.ni.ac.rs
[2] Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, alexandar.bmf@gmail.com
[3] Department of Physics, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, vidosav@pmf.ni.ac.rs

Abstract: *Expectation maximization (EM) is iterative method used to determine the parameters of distributions in statistical models. In this paper EM algorithm for determination of Gauss-exponential distribution parameters is proposed. Algorithm describing all steps for determination of parameters is presented. Finally, the method is applied to determine parameters of breakdown time delay distributions.*

Keywords: *Mixture model, Expectation maximization, Time delay measurements.*

1. INTRODUCTION

Expectation maximization represents iterative method used to determine the parameters of distributions in the statistical models when maximum likelihood estimation cannot be used. Method was used by numerous researchers, however in 1977 Dempster et al. [3] systematized it, proved convergence and coined the existing name. Since then it is widely used for determination of parameters of distributions [4], data clustering [1, 6], neural network [5], or in image processing [2]. In this paper, we will apply EM algorithm to determine the parameters of breakdown time delay distributions. Let us first see what breakdown time delay is.

At normal conditions, gas is an insulator. However, when sufficient voltage is brought to the tube filled with gas, the electrical breakdown occurs and gas becomes conductive. However, from the application of voltage and breakdown itself, some time delay exists. Breakdown time delay t_d is the time between the moment of the application of the voltage greater than the static breakdown voltage U_s to the tube until the occurrence of the electrical breakdown [9]. It consists of statistical and formative time delay. The statistical time delay t_s is the time between the application of a sufficient voltage and the appearance of a free initiating electron. The formative time delay t_f is the time between the appearance of initiating electron to the moment of the collapse of the applied voltage and the occurrence of a self-sustained current [9]. The breakdown time delay can be regarded as the sum of the statistical time delay and the formative time delay, i.e. $t_d = t_s+t_f$. Breakdown time delay, as well as statistical and formative time delay are stochastic variables. Statistical time delay can follow Normal (Gaussian), exponential, or the mixture of these two distributions depending on preionization level [8]. On the other hand, formative time delay follows normal (Gaussian) distribution or the mixture of them [7].

2. EXPECTATION MAXIMIZATION ALGORITHM

Expectation maximization algorithm is generalization of maximum likelihood estimation. It consists of two steps, finding the probability distribution and then re-estimating the parameters of the distribution. The first step is called expectation step, while second step is maximization step. The main aim of this algorithm is to find parameters maximizing log probability of observed data, which for incomplete data has more than one local maximums [4].

3. EM ALGORITHM FOR MIXTURE OF GAUSSIAN AND EXPONENTIAL DISTRIBUTION

For Gaussian mixtures, there already exists EM algorithm [1]. However, we didn't find the method for the mixture of Gaussian and exponential distribution, so we developed one because of our experimental data. We shall use the EM method with the assumption that there exist hidden parameters. Then, probability density function (pdf) of X will be

$$f_X(x) = \alpha_1 f_1(x) + \alpha_1 f_1(x), \quad x \in R,$$

Where $f_1(x) = \lambda e^{-\lambda x} I\{x \geq 0\}$ and $f_2(x) = \varphi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$ is pdf of $N(\mu, \sigma^2)$ random variable, while α_1 and α_2 are the mixing weights. We should estimate parameter $\theta = (\lambda, \mu, \sigma^2, \alpha_2)$ based on a simple random sample $\mathbf{X} = (X_{1,\ldots,} X_n)$, since, for two components mixture (which is the case here), $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$. Let Y is the latent random variable with probability mass function $f(j) = P\{Y = j\} = \alpha_j,\ j = 1, 2.$ Random sample $\mathbf{Y} = (Y_{1,\ldots,} Y_n)$ from this distribution represents random variables

$$Y_i = \begin{cases} 1 \text{ when } X_i \text{ has the pdf } f_1 \\ 2 \text{ when } X_i \text{ has the pdf } f_2 \end{cases}, i = 1, \ldots, n$$

Probability mass function of Y_i is

$$f(y_i^{(j)}) = P\{Y_i = y_i^{(j)}\} = \alpha_j,\ y_i^{(j)} \in \{1, 2\},\ j = 1, 2,\ i = 1, \ldots, n.$$

Let $\aleph$ is the set of all realized samples of the random sample $\mathbf{X}$ while γ denotes the set of all realized samples of the random sample $\mathbf{Y} = (Y_{1,\ldots,} Y_n) : \gamma = \{(y_1^{(j)}, \ldots, y_n^{(j)}),\ j = 1, 2\}$. Then, the complete data log–likelihood function will be

$$\ln L(\theta | \aleph, \gamma) = \ln(f(\theta | \aleph, \gamma)) = \sum_{i=1}^{n} \ln(f_X(x_i | y_i) f_Y(y_i)) = \sum_{i=1}^{n} \ln(\alpha_1 f_1(x_i | \lambda) + \alpha_2 f_2(x_i | \mu, \sigma^2)),$$

where for the simplicity we denoted probability mass function of Y as $f_Y(y_i)$.

We start EM algorithm with some initial value $\theta^0 = (\lambda^0, \mu^0, \sigma^{20}, \alpha_2{}^0)$. The mixing parameter $\alpha_j \quad j = 1, 2$ can be thought of as the prior probability of the mixture component. So,

$$p(y_i | x_i, \theta^0) = \frac{f_X(x_i | y_i, \theta^0) f(y_i, \theta^0)}{f_X(x_i, \theta^0)}, \quad i = 1, \ldots, n.$$

or, specifically in our case,

$$p(1 | x_i, \theta^0) = \frac{\alpha_1{}^0 f_1(x_i, \lambda^0)}{f_X(x_i, \theta^0)} \text{ and } p(2 | x_i, \theta^0) = \frac{\alpha_2{}^0 f_2(x_i, \mu^0, \sigma^{20})}{f_X(x_i, \theta^0)}$$

and

$$p(\mathbf{y} \mid X, \theta^0) = \prod_{i=1}^{n} p(y_i | x_i, \theta^0),\ \mathbf{y} \in \gamma.$$

Further, the incomplete-data log-likelihood is

$$\ln L(\theta | \aleph) = \ln \prod_{i=1}^{n} f_X(x_i | \theta) = \sum_{i=1}^{n} \ln(\alpha_1 f_1(x_i | \lambda) + \alpha_2 f_2(x_i | \mu, \sigma^2)),$$

where

$$\alpha_1 f_1(x_i | \lambda) = \alpha_1 \lambda \exp\{-\lambda x_i\} I\{x_i \geq 0\} \text{ and } \alpha_2 f_2(x_i | \mu, \sigma^2) = \alpha_2 (2\pi\sigma^2)^{-1/2} \exp\{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\}.$$

It follows that the function

$$L = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\ln(f_1(x_i | \lambda)\right) p(1 | x_i, \theta^0) + \left(\ln f_2(x_i | \mu, \sigma^2)\right) p(2 | x_i, \theta^0) \right]$$

can be maximized with respect to λ, μ, σ^2. After the simple calculation, it follows that

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n} p(1|x_i,\theta^0)}{\sum_{i=1}^{n} x_i p(1|x_i,\theta^0)},\ \mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i p(2|x_i,\theta^0)}{\sum_{i=1}^{n} p(2|x_i,\theta^0)} \text{ and } \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i-\mu)^2 p(2|x_i,\theta^0)}{\sum_{i=1}^{n} p(2|x_i,\theta^0)}.$$

So in iteration procedure we have to solve following equations:

$$\alpha_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} p(j|x_i,\theta^0),\ j=1,2 \text{ i.e., } \alpha_2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} p(2|x_i,\theta^0), \alpha_1 = 1-\alpha_2$$

$$\alpha_2^{(m)} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} p(2|x_i,\theta^{(m-1)}),\ \alpha_1^{(m)} = 1-\alpha_2^{(m)}$$

$$\lambda^{(m)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p(1|x_i,\theta^{(m-1)})}{\sum_{i=1}^{n} x_i p(1|x_i,\theta^{(m-1)})},\ \mu^{(m)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i p(2|x_i,\theta^{(m-1)})}{\sum_{i=1}^{n} p(2|x_i,\theta^{(m-1)})} \text{ and } \sigma^{2(m)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i-\mu)^2 p(2|x_i,\theta^{(m-1)})}{\sum_{i=1}^{n} p(2|x_i,\theta^{(m-1)})}.$$

The procedure is illustrated in a flow chart given in figure 1.

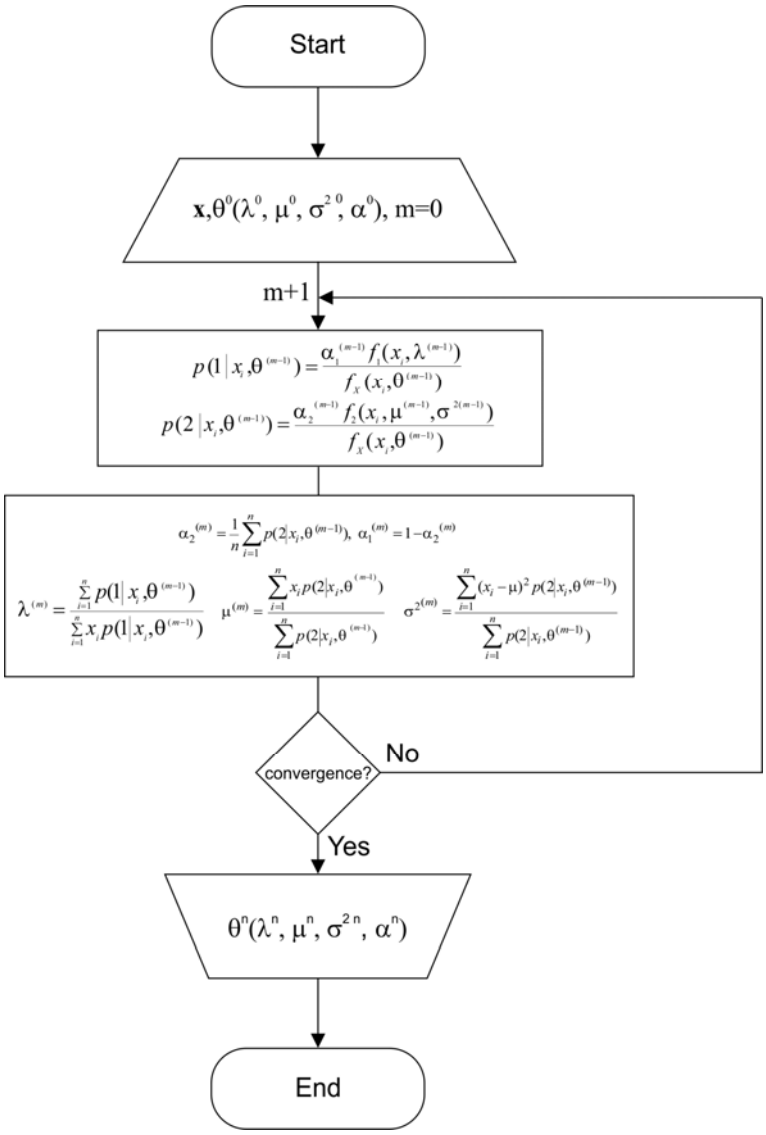


Figure 1: Flow chart of EM algorithm

4. EXPERIMENTAL RESULTS

In order to illustrate the application of EM algorithm, we applied it to determine the parameters of distribution for two common mixtures used for breakdown time delay modeling i.e. double-Gaussian and Gauss-exponential distribution. In figure 2, the double-Gaussian distribution of the formative time delay is presented

$$f(t_s) = a\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}e^{-\frac{(t_f-\bar{t}_{f1})^2}{2\sigma_1^2}} + (1-a)\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2}e^{-\frac{(t_f-\bar{t}_{f1})^2}{2\sigma_2^2}} \tag{1}$$

where a is mixing weight, $\bar{t}_{f1}$ and $\bar{t}_{f2}$ are mean values, while σ_1 and σ_2 are standard deviations of formative time delay.

In case when two kinds of particles are present during the formation of the discharge, the mixture of Gaussian distributions is obtained [7]. In order to illustrate it, we analyzed data measured in argon [7]. The measurements were carried out on the gas tube with copper (oxygen free high conductivity) electrodes, filled with argon at pressure 226.6 *Pa* with inter-electrode distance 1 *cm*. The working voltage was 300 *V*, glow current 130 μA, the glow time 1 *s*, while the relaxation time (time between two voltage pulses) was τ=3 *ms*. The data are presented in a form of histogram, while the full line is the model (1). We used EM algorithm presented in [1] to calculate the parameters and fit the model to the data. The parameters determined in this way were $a = 0.77$, $\bar{t}_{f1} = 46.39\,\mu s$, $\sigma = 0.62\mu s$, $\bar{t}_{f2} = 44.42\,\mu s$ and $\sigma_2 = 0.34\,\mu s$. From the figure 2 good agreement between data and model can be observed.

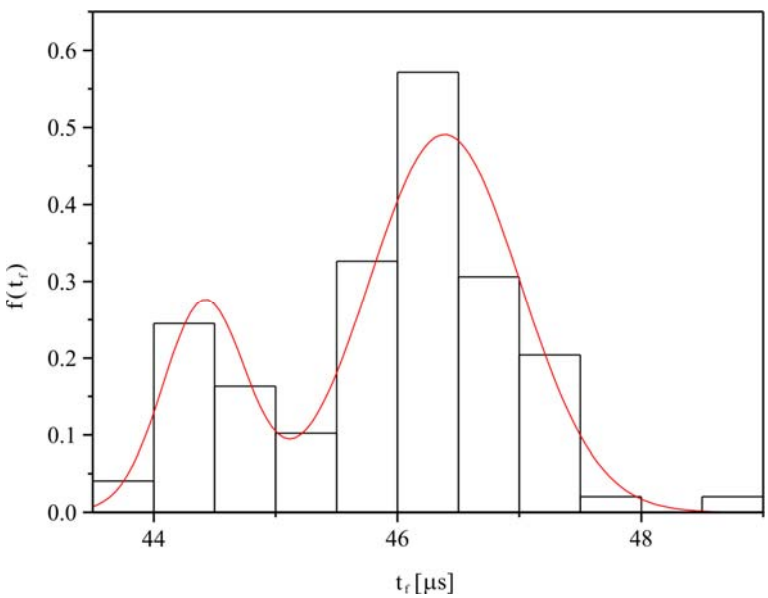


Figure 2: Formative time delay distribution modeled with double-Gaussian distribution

In the case of moderate preionization, the statistical time delay can be most satisfactory described with Gauss-exponential distribution

$$f(t_s) = a\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(t_s-\bar{t}_{s1})^2}{2\sigma^2}} + (1-a)\frac{1}{\bar{t}_{s2}}e^{-\frac{t_s}{\bar{t}_{s2}}}, \tag{2}$$

where a is mixing weight, $\bar{t}_{s1}$ and $\bar{t}_{s2} = 1/\lambda$ are mean values, while σ is standard deviations of statistical time delay. In order to illustrate this distribution, we present measurements carried out in synthetic air. The measurements were carried out on the gas tube with stainless steel electrodes (AISI 304), filled with synthetic air at pressure 300 *Pa* with inter-electrode distance 0.6 *cm*. The working voltage was 600 *V*, glow current was 300 μA, the glow time was 1 *s*, while the relaxation time was $\tau = 20\,ms$. The data are presented as histogram, while the full line is the model (2) (figure 3). We used EM algorithm described in previous section to calculate the parameters and fit the model to the data. The following parameters were determined

$a = 0.76$, $\bar{t}_{s1} = 3.98\,\mu s$, $\sigma = 1.85\,\mu s$ and $\bar{t}_{s1} = 1/\lambda = 3.41\,\mu s$. The well agreement between the model and experimental data can be observed.

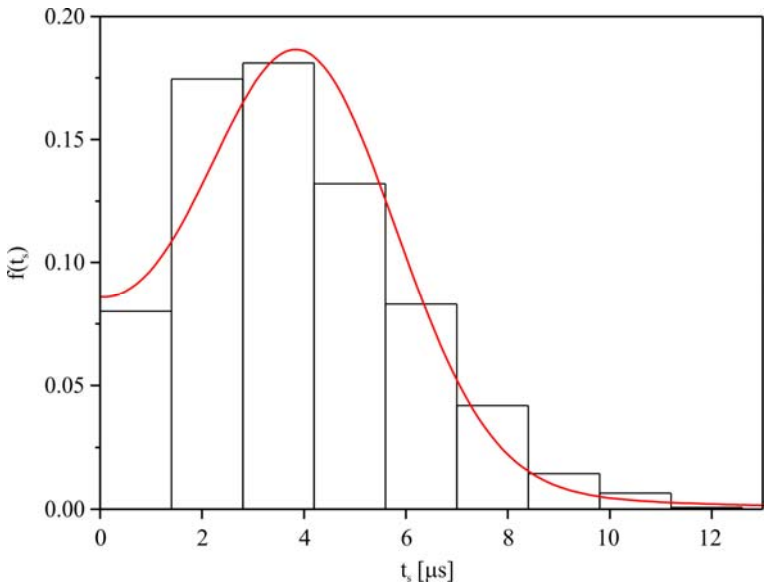


Figure 3: Statistical time delay distribution modeled with Gauss-exponential distribution

5. CONCLUSION

In this paper, we discussed application of EM algorithm for modeling the breakdown time delay distributions. EM algorithm for Gauss-exponential mixture is proposed and applied to calculate the distribution parameters for Gauss-exponential distribution. Good agreement between data and model is obtained.

Acknowledgement

The first author was supported by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development (ON 174007). The second and the third author were supported by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development (ON 171025).

REFERENCES

[1] Bradley, P. B., Fayyad, U. M., and Reina, C. A. (1998). Scaling EM (Expectation-Maximization) Clustering to Large Databases. (Report No. MSR-TR-98-35). Redmond, USA: Microsoft Research

[2] Carson, C., Belongie, S., Greenspan, H., and Malik, J. (2002). Blobworld: Image segmentation using Expectation-Maximization and its application to image querying. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24, 1026-1038.

[3] Dempster, A. P., Laird, N. M., and Rubin, D. B. (1977). Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. Journal of Royal Statistical Society Series B, 39, 1-38.

[4] Do, C. B., and Batzoglou, S. (2008). What is the expectation maximization algorithm? Nature Biotechnology, 26, 897-899.

[5] Ghahramani, Z., and Jordan, M. I. (1994). Supervised learning from incomplete data via an EM approach In Cowan, J. D., Teasuro G., and Alspector J. (eds.) Advances in neuroprocessing systems 6 (Morgan Kauffman Publishers, San Francisco, USA)

[6] Hwang, S., Oh, J. H., Cox, J., Tang, S. J., Tibbals, F. (2006). Blood detection in wireless capsule endoscopy using expectation maximization clustering. Proc. SPIE 6144, Medical Imaging 2006: Image Processing. San Diego, USA, 6144P1-P11

[7] Jovanović, A. P., Marković, V. Lj., Stamenković, S. N. and Stankov, M. N. (2016). Distributions of the Formative Time Delay in Argon and Synthetic Air at Low Pressure. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 23, 2641-2648.

[8] Marković, V. Lj., Gocić, S. R., and Stamenković, S. N. (2006). New distributions of the statistical time delay of electrical breakdown in nitrogen. Journal of Physics D: Applied Physics, 39, 3317–3322.

[9] Meek, J. M., and Craggs, J. D. (eds.), (1978). Electrical Breakdown of Gases, John Wiley & Sons: Chichester, UK

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MODEL ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA MOBILNIH UREĐAJA U POSLOVNICAMA KOMPANIJE TELEKOM SRBIJA

MODEL FOR INVENTORY MANAGEMENT OF MOBILE DEVICES IN TELEKOM SERBIA POINTS OF SALE

SINIŠA ARSIĆ[1]

[1] Telekom Srbija, sinisaars@telekom.rs

Rezime: *Efikasno ispunjenje zahteva krajnjeg korisnika za određenim proizvodom, u uslovima konkurentnog okruženja, predstavlja direktnu potvrdu neophodnosti adekvatnog upravljanja zalihama. Telekom Srbija je lider u oblasti telekomunikacija u Srbiji, Crnoj Gori, Bosni i Hercegovini, pa je tako i segment prodaje mobilnih uređaja vrlo razvijen i jedan od najsloženijih zadataka, koji se ogleda u ispunjenju planova prodaje. U ovom radu predstavlja se model distribucije mobilnih uređaja u sistemu Telekoma Srbije, sa ciljem minimizacije efekata neispunjenja zahteva korisnika za određenim uređajem, usled nedostatka na zalihama. Parametri modela upravljanja zalihama na prodajnim mestima utvrđeni su na osnovu postojećeg stanja sistema i pregleda dostupne literature. Polazne informacije predstavljaju istorijski podaci o zalihama za 2016. godinu,o isporuci i prodaji Apple uređaja u okviru Telekoma Srbija pri čemu je problem ograničen samo na Apple uređaje. Implementacija razvijenog modela realizovana je u MS Excel spredšitu. Kao osnovni rezultati primene modela mogu se izdvojiti definisanje količine pri kojoj je potrebno ponovno naručivanje, momenta ponovnog naručivanja, kao i definisanje količina za naručivanje koje pokrivaju periode između naručivanja u cilju minimizacije posledica izgubljene prodaje.*

Ključne reči: *mobilni uređaji, upravljanje zalihama, izgubljena prodaja, tačka naručivanja*

Abstract*: Effective implementation of an end user's request for a specific product, in terms of a competitive environment, represents a direct confirmation of the necessity of adequate inventory management. Company Telekom Serbia is the leader in telecommunications in Serbia, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, and it can be noticed that the sales segment of mobile devices is highly developed and one of the most complex tasks is reflected in the fulfillment of sales plans. This paper presents a model of distribution of mobile devices in the system of Telekom Serbia, in order to minimize the effects of failure to meet customer's requirement for a specific device, due to a lack of stock. Parameters of inventory management model within Telecom Serbia shops are based on the existing state of the system and literature review. Starting information is represented with historic data of sales for 2016., deliveries and sale of Apple devices within Telekom Serbia, where the problem was narrowed only on Apple devices. Implementation of the model was developed and simulated in an MS Excel spreadsheet. Main contributions of the paper include defining reorder points and reorder moments, as well as reorder quantities which cover reorder interim periods effecting in minimization of lost sales consequences.*

Keywords*: mobile devices, inventory management, lost sales, reorder point*

1. UVOD

Proces distribucije i prodaje u u oblasti telekomunikacija odlikuje neizvesna tražnja, konkurentno okruženje, ali i veliki uticaj marketinških kampanja. Drastična sniženja cena mobilnih uređaja i izmena sadržaja prodajnih paketa se izvršavaju svakodnevno u okviru jednog prodajnog mesta, grada i regiona. U takvim uslovima neizvesnosti, upravljanje zalihama pri ograničenim količinama robe za distribuciju i prodaju predstavlja veliki izazov i zahteva odgovarajuće modele minimizacije troškova nedostajućih zaliha na određenoj prodajnoj lokaciji (Gallego *et al.* 2007).

Problem koji se analizira u ovom radu je upravljanje zalihama mobilnih uređaja na prodajnim mestima kompanije Telekom Srbija, putem identifikacije parametara koji su neophodni za kreiranje odgovarajućeg modela. Osnovni cilj je minimizacija izgubljene prodaje, koja je u radu posmatrana preko skupa istorijskih podataka i skupa simuliranih (prognoziranih) podataka o tražnji.

U okviru pregleda postojećih istraživanja, prikazanih u drugom poglavlju, razmatrana su različita rešenja problema upravljanja zalihama usled neizvesne tražnje, sa primerima simulacija nad modelom upravljanja zalihama uz pomoć spredšit modela. U trećem poglavlju predstavljena je verbalna i matematička formulacija modela za problem upravljanja zalihama na prodajnim mestima u kompaniji Telekom Srbija, uz prevođenje matematičkog modela u spredšit model. Četvrto poglavlje opisuje spredšit simulaciju nad skupom istorijskih podataka o prodaji i zalihama *Apple* mobilnih uređaja. Poglavlje pet odnosi se na evaluaciju modela i analizu rezultata simulacije modela nad realnim skupom podataka, dok zaključna razmatranja u šestom poglavlju, sumiraju rezultate i najavljuju buduće pravce istraživanja.

2. PREGLED POSTOJEĆIH ISTRAŽIVANJA

Adekvatno i efikasno rešavanje problema distribucije robe u industriji telekomunikacija, direktno prouzrokuje povećanje efektivnosti prodaje i rast nivoa zadovoljstva kupaca (Heikkila 2002). Kao glavni efekti rešavanja problema distribucije, mogu se navesti uspešno realizovani ciljevi kompanije Nokia, npr. da smanji/optimizuje nivo zaliha, da minimizuje kašnjenje u realizaciji porudžbina, kao i da maksimizuje efektivnost isporuka. Takođe, u istraživanju sprovedenom na 116 multinacionalnih kompanija, navodi se da visoke perfomanse upravljanja tražnjom utiču na celokupan lanac snabdevanja, i to više nego upravljanje distribucijom (Rexhausen et al, 2012). Efekat postojanja primene stohastičkih modela upravljanja/kontrole zaliha jeste trošak usled nedostatka zaliha, reflektovan nižim rezultatima prodaje i nemogućnošću ispunjenja plana prodaje, uz pretpostavku da je neispunjen zahtev uspešno realizovan kod konkurencije. Donošenje odluka postaje kritično kako bi se ublažio uticaj neizvesnosti tražnje i maksimalno iskoristili ograničeni prodajni kapaciteti (Gupta i Maranas 2003). Dobro upravljanje zalihama ogleda se u ostvarivanju i održavanju minimalnih posledica nedostatka zaliha. Kreiranje i implementacija modela za upravljanje zalihama može se realizovati korišćenjem spredšitova (Chen i Krass 2001), a primena je raznovrsna:

- Dinamičko određivanje momenta za popunu zaliha (Mahamani *et al.* 2008);
- Određivanje optimalne veličine isporuke (Lee *et al.* 1991);
- Definisanje modela za kontrolu zaliha sa i bez dozvoljenih nedostataka (Antić *et al.* 2015) i
- Specijalne heuristike za rešavanje problema za upravljanje zalihama u uslovima ograničenih skladišnih kapaciteta (Đorđević *et al.* 2016).

Kako bi se efikasno razvio i kasnije primenio odgovarajući model upravljanja zalihama, koriste se dostupni alati spredšit inženjerstva koji pružaju priliku za simulaciju nad realnim (ili fiktivnim) skupom podataka. U velikom broju istraživanja razmatrani su spredšit modeli za upravljanje zalihama usled neizvesne tražnje, na primer:

- Objedinjavanje politike popune zaliha, zbog minimizacije ukupnih troškova upravljanja zalihama (Turkay i Alptekin 2013);
- Simulacija nivoa rizika u korelaciji sa određivanjem optimalnog minimalnog i maksimalnog nivoa zaliha (Abuizam 2011);
- Simulacija strategije upravljanja zalihama, koja potvrđuje „Min-Max“ strategiju kao najpodesniju (Sochko 2010).

Prikazu spredšit modela i simulacije prethodi izdvajanje prednosti modeliranja pomoću spredšitova, dominantni su sledeći benefiti: mogućnost simulacije realnih poslovnih procesa, jednostavnost aproksimacije velikih serija podataka, višekriterijumska optimizacija uz poštovanje ograničenja (Sezen i Kitapci 2007, Mahamani i Rao 2010, Liu *et al.* 2013).

U skladu sa postojećim istraživanjima, kao glavni cilj ovog istraživanja može se definisati kreiranje modela za određivanje količine naručivanje i tačke (momenta) za naručivanje *Apple* mobilnih uređaja na prodajnim mestima kompanije Telekom Srbija, u cilju ostvarenja minimizacije propuštene prodaje, zbog toga što neki uređaj nije bio na stanju u momentu kreiranja zahteva, ili je bio pogrešno alociran na određeno prodajno mesto, stvarajući prekomerne zalihe.

3. MODELIRANJE PROBLEMA

3.1 Opis problema i pretpostavke

Problem upravljanja zalihama mobilnih uređaja na prodajnim mestima kompanije Telekom Srbija razmatran je imajući u vidu etapni protok mobilnih uređaja na nedeljnom nivou (vremenski trenutak t), koji se popunjava novim količinama na svake dve nedelje. Na složenost modela utiče činjenica da se radi o 96 različitih podmodela *Apple* mobilnih uređaja (i), različite boje i veličine memorije, koje je potrebno alocirati na određeno prodajno mesto l (za potrebe modeliranja analizirano je jedno prodajno mesto, od ukupno 84 u Srbiji na kojima

se prodaju Apple mobilni uređaji, na kojem se javljaju česti nedostaci podmodela na stanju). Moguće je isporučiti ograničenu količinu mobilnih uređaja pri čemu je vreme isporuke dve nedelje (LT=2) od momenta naručivanja (za nabavku je bitno razumeti da postoje još i brojni drugi brendovi mobilnih uređaja i opreme koji se naručuju i prodaju, a koji u ovom istraživanju nisu razmatrani). Uređaj koji uđe na stanje na određenom prodajnom mestu (y_t^i), ne može se preraspodeliti na neko drugo prodajno mesto već ostaje na lokaciji do momenta prodaje (izlaska iz skladišta- o_t^i). Ako je zbir ulaza (y_t^i) u određenoj nedelji i preostale količine iz prethodne nedelje (X_{t-1}^i) na određenom prodajnom mestu nedovoljan da ispuni ukupnu tražnju, doći će do beleženja nerealizovanog zahteva (R_t^i). Nerealizovane zahteve nije moguće ispuniti naknadno u nekom kasnijem vremenskom trenutku t, imajući u vidu da konkurentske kompanije (mobilni operatori, veleprodajne i maloprodajne kompanije) imaju kompatibilnu ponudu mobilnih uređaja i ispunjavaju svaki zahtev koji nije realizovan od strane kompanije Telekom Srbija. Dolazak potencijalnog kupca na prodajno mesto predstavlja stohastički događaj i definiše tražnju korisnika za određenim mobilnim uređajem (D_t^i). Tražnja je jednaka ukupnoj prodaji (o_t^i) i nerealizovanim zahtevima (R_t^i) u jednoj nedelji (D_t^i= R_t^i+ o_t^i). Za potrebe simulacije koristiće se parametar D'_t tražnje koji aproksimira tražnju zavisno od činjenice da li je u nedelji dolaska kupca na prodajno mesto bila u toku jedna od mnogobrojnih kampanja s popustom i drugim benefitima na kupovinu mobilnih uređaja i usluga mobilne telefonije. Rezultat simulacije nad realnim setom podataka trebalo bi da bude određivanje momenta za popunu zaliha (ponovno naručivanje)- ROP'_t, koja se proverava u odnosu na trenutno stanje zaliha podmodela i na kraju vremenskog perioda t, $X_t^i = y_t^i + o_t^i - X_{t-1}^i$. Količine za naručivanje OQ_t^i , su određene na osnovu proseka aproksimacije tražnje D_t^i za prethodna četiri vremenska perioda (t=1,2,3,4). Troškovi isporuke, troškovi držanja zaliha i svi ostali povezani troškovi nisu uzeti u obzir prilikom definisanja ovog modela. Takođe, vremensko kašnjenje u isporukama iz centralnog skladišta do prodajnog mesta (bilo gde u Srbiji) je tek nešto više od nekoliko sati, tako da ne predstavlja ograničavajući faktor za modeliranje.

3.2 Matematički model

Kao što je prethodno navedeno, potrebno je imati u vidu da se radi o upravljanju zalihama u slučaju neizvesne tražnje, gde svaki nerealizovani zahtev rezultuje izgubljenom prodajom i otežava realizaciju plana prodaje mobilnih uređaja. Tražnja za mobilnim uređajima je promenljiva i neizvesna pojava, a prisustvo marketinških kampanja dodatno povećava verovatnoću dolaska na određeno prodajno mesto. Isporuke po prodajnim mestima se sprovode etapno, a glavni problem koji će biti modeliran jeste pronalaženje količine za naručivanje i momenta kada naručiti nove količine, kako bi se broj nezadovoljenih zahteva minimizovao u odnosu na ukupnu tražnju za određenim mobilnim uređajem. Zbog sveukupne složenosti sistema, modeliranje će biti izvršeno samo za *Apple* uređaje, pod pretpostavkom da zalihe ostalih uređaja ni na koji način ne utiču na sastav isporuke *Apple* uređaja, odnosno da je skladišni prostor definisan modelom unapred opredeljen *Apple* mobilnim uređajima. Dobijeni rezultati mogu se iskoristiti kasnije i za unapređenje prognoze i plan prodaje koji će biti usaglašen sa realnim mogućnostima na terenu.
U radu će biti korišćene sledeće oznake:

- t : vremenski period (t = 0,1,2,…., T);
- l : prodajno mesto na teritoriji Srbije (l = 1,2,…,m);
- i : podmodel *Apple* mobilnih uređaja (i = 1,…,n);
- R_t^i : izgubljena prodaja (broj komada) podmodela i u vremenskom trenutku t;
- X_0^i : početno (poznato) stanje zaliha podmodela i;
- X_{t-1}^i : stanje zaliha na kraju prethodnog vremenskog perioda $t-1$;
- X_t^i : stanje zaliha na kraju vremenskog perioda t;
- y_t^i : količina podmodela i koja je ušla u skladište u vremenskom trenutku t;
- o_t^i : prodaja (izlaz iz skladišta) u vremenskom trenutku t, za period modeliranja t =1,…,15;
- y_t^{fi}: prognoza prodaje (budućeg izlaza iz skladišta) u vremenskom trenutku t, za period simulacije t =16,….,30;
- G_l : veličina skladišnog prostora na prodajnom mestu l;
- D_t^i: traznja za podmodelom i u vremenskom trenutku t;
- $\mathrm{D}_t'^{i}$: aproksimacija ukupne tražnje za podmodelom i u vremenskom trenutku t;

- D_{sr}^{i} : prosečna prodaja podmodela *i* za ukupan vremenski horizont;
- OQ_t^i : količina podmodela *i* za naručivanje na početku vremenskog trenutka *t*;
- LT : vreme čekanja (LT=2);
- SS_l^i : nivo sigurnosnih zaliha podmodela *i* na prodajnom mestu *l*;
- $\mathrm{ROP}_t^{\mathrm{i}}$: tačka naručivanja podmodela *i* (stanje zaliha na početku vremenskog perioda *t*, ispod koje je potrebno ponovno naručiti količinu za naručivanje OQ_t^i);
- $\mathrm{M}'^{\mathrm{i}}_t$: upravljačka promenljiva koja definiše momenat naručivanja nove količine podmodela *i*;
- WD_t^i : vremenski trenutak u kojem stiže količina OQ_t^i naručena dve nedelje ranije.

Cilj je da za određeno prodajno mesto *l* očekivana izgubljena prodaja podmodela *i* bude minimizovana u odnosu na ukupnu tražnju za podmodelom *i*. Za sagledavanje nivoa nezadovoljene tražnje na određenom prodajnom mestu, razmatran je vremenski period od 15 nedelja (t=1,…,15) u kojem se često javlja nezadovoljena tražnja na određenom prodajnom mestu, kako bi se utvrdili osnovni parametri neophodni za kreiranje modela za upravljanje zalihama. Ulaz u skladište razmatran je u periodu novih 15 nedelja (t=16…,30) i predstavljen je relacijom (1). Izraz uzima u obzir činjenicu da ulaz u skladište (y_t^i), tj. količina za naručivanje definisana 2 nedelje ranije, ne može biti veći od ograničenja skladišnog prostora umanjenog za stanje zaliha podmodela *i* iz prethodnog vremenskog trenutka:

$$y_t^i=\begin{cases} \mathrm{OQ}_{t-2}^i, \text{if } \mathrm{OQ}_{t-2}^i + X_{t-1}^i \le G_l \\ \mathrm{G}_l - X_{t-1}^i, \text{if } \mathrm{OQ}_{t-2}^i + X_{t-1}^i > G_l \end{cases} \tag{1}$$

Da bi se izbeglo naručivanje prekomernih količina usled nezadovoljene tražnje tokom marketinških kampanja (perioda uvećane tražnje za određenim podmodelom), uveden je parametar standardne devijacije u odnosu na koji se definiše aproksimirana tražnja $\mathrm{D}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{i}}$ (2). Takođe, relacija (2) uključuje aproksimaciju tražnje u slučaju pojave marketinških kampanja tokom razmatranog perioda (tražnja se aproksimira pomoću maksimalne tražnje za prethodne 4 nedelje):

$$\mathrm{D}'_{\mathrm{t}}=\begin{cases} R_t^i + o_t^i, if\ D_t^i < 1/n \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(D_t^i - D_{sr}^i)^2} \\ Max\left(D_{t-1}^i, D_{t-2}^i, D_{t-3}^i, D_{t-4}^i\right), \text{if } \mathrm{D}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{i}} \ge (1/n \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(D_t^i - D_{sr}^i)^2} \end{cases} \tag{2}$$

Za predviđanje tražnje korišćena je metoda pokretnog proseka, na osnovu aproksimirane tražnje za periode koji su uzastopno stariji tačno 4 nedelje (na taj način se uprosečava tražnja u odnosu na poziciju nedelje u mesecu):

$$y_t^{fi}=1/T \sum_{\mathrm{t=k}}^{\mathrm{T}} (\mathrm{D}'^{\mathrm{i}}_{\mathrm{t-4}}, \mathrm{D}'^{\mathrm{i}}_{\mathrm{t-8}}, \mathrm{D}'^{\mathrm{i}}_{\mathrm{t-12}}, \mathrm{D}'^{\mathrm{i}}_{\mathrm{t-16}}) \tag{3}$$

Parametar nivoa zaliha (pri kojem je potrebno ponovo naručiti nove količine kako ne bi došlo do nezadovoljene tražnje za određenim podmodelom), definiše se uz pomoć prosečne tražnje tokom perioda između momenta naručivanja i pristizanja isporuke, kao i nivoa sigurnosnih zaliha SS_l^i :

$$\mathrm{ROP}_t^{\mathrm{i}} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} \mathrm{D}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{i}} \times LT + \mathrm{SS}_l^i \tag{4}$$

Prema (4) za svaki podmodel *i*, definiše se momenat za ponovno naručivanje $\mathrm{M}'^{\mathrm{i}}_t$ na sledeći način:

$$\mathrm{M}'^{\mathrm{i}}_t=\begin{cases} 1, \text{ako } \mathrm{X}_t^i < \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} \mathrm{D}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{i}} \times LT + \mathrm{SS}_l^i \\ 0, \text{ako } \mathrm{X}_t^{\mathrm{i}} \ge \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} \mathrm{D}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{i}} \times LT + \mathrm{SS}_l^i \end{cases} \tag{5}$$

Međutim, imajući u vidu već navedenu okolnost od 2 nedelje između momenta poručivanja i momenta ulaska zaliha u skladište, trenutak pristizanja količine podmodela *i* naručene u vremenskom trenutku *t*, može se prikazati:

$$\mathrm{WD}_t^{\mathrm{i}}=\begin{cases} t+2, \text{ako } \mathrm{M}'^{\mathrm{i}}_t = 1 \\ 0, \text{ako } \mathrm{M}'^{\mathrm{i}}_t = 0 \end{cases} \tag{6}$$

Ukoliko je doneta odluka o definisanju momenta (nedelje) za ponovno naručivanje ($\mathrm{M}'^{\mathrm{i}}_t = 1$), nedelja u kojoj će da pristignu naručene količine jednaka je $\mathrm{WD}_t^{\mathrm{i}}$ = t+2 u izrazu (6). U tom momentu se definiše količina za naručivanje $\mathrm{OQ}_t^{\mathrm{i}}$ koja uzima u obzir vreme čekanja od 2 nedelje i prosek tražnje u prethodne 4 nedelje:

$$OQ_t^i = \begin{cases} \frac{1}{4}\sum_{k=1}^{4} LT \times D'^{i}_{t-k} & \text{, ako } WD_t^i = t+2 \\ 0, \text{ako } WD_t^i = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Na nivou podmodela *i*, neophodno je obezbediti minimizaciju izgubljene prodaje u vremenskom trenutku *t.* Da bi to bilo ostvareno, skup upravljačkih odluka koje definišu potrebu za popunjavanje zaliha određenog podmodela na prodajnom mestu, mora prvenstveno da obezbedi što manje nerealizovanih zahteva. U (8) prikazana je ciljna funkcija $L(M'^{i}_{t})$ koja objedinjuje upravljačke odluke čiji efekat minimizuje ukupnu izgubljenu prodaju za sve podmodele, u vremenskom trenutku t:

$$L(M'^{1}_{t}, \dots, M'^{n}_{t}) = \min \sum_{i=1}^{96} R_t^i \quad (8)$$

Rezultat simulacije u spredšit modelu trebalo bi da bude testiranje raznih scenarija (OQ_t^i, M'^{i}_{t}) , kako bi se došlo do odgovarajućeg scenarija pri kojem se minimizuje izgubljena prodaja na određenom prodajnom mestu.

4. SPREDŠIT MODEL I SIMULACIJA

U cilju analize istorijskih podataka razmatran je period od 30 nedelja koje se odnose na prodaju i stanje zaliha *Apple* podmodela na nivou teritorije Srbije. Iz analize su filtrirana sva prodajna mesta gde za celokupan period od 30 posmatrane nedelje ne dolazi do slučajeva nezadovoljene tražnje, odnosno gde nije potrebna izmena upravljanja zalihama. Podmodeli koji su u ponudi na određenom prodajnom mestu, ulaze u sastav isporuke za period *t*, pod uslovom da se njihovom alokacijom u isporuci za naredni vremenski period obezbeđuje minimalna izgubljena prodaja. Spredšit model je postavljen uz pomoć integracije različitih baza podataka koje sadrže informacije o: kapacitetu svakog skladišta na određenom prodajnom mestu; opisu *Apple* uređaja i jediničnoj ceni; ukupnom ulazu, izlazu i izgubljenoj prodaji; naručenim količinama i standardnoj devijaciji u odnosu na nedeljni prosek tražnje na svim prodajnim mestima. *MS Excel* funkcije su pored integracije različitih vrsta podataka, predstavljale i podršku u definisanju ograničenja i kriterijuma u kojima je model definisan (1-8). Rezultat primene modela predstavljaju pojedinačne upravljačke odluke da li naručiti određenu količinu podmodela mobilnih uređaja u nekom vremenskom trenutku (5), a glavni izlaz iz modela je skup upravljačkih odluka za sve podmodele (8). Taj skup se dalje koristi kao ulaz u druge modele koji nisu predmet ovog rada (modeli optimizacije isporuka, troškova, upravljanja prodajom). Slikom 1. prikazani su istorijski podaci, na osnovu kojih su definisani: aproksimacija tražnje (2), prosečna dvonedeljna tražnja i količina zaliha podmodela ispod koje je potrebno ponovno naručivanje (4).

		Ulaz	Izlaz	Stanje	Izgubljena prodaja	Ukupna traznja	Traznja aproksimacija	Order Qty	Kada naruciti	Kada stize
	nedelja	y_t^i	o_t^i	X_t^i	R_t^i	D_t^i	D'_T	OQ_t^i		
istorijski podaci	0	0	0	4	0	0	0	0		
	1	0	4	0	45	49	0	0		
	2	0	0	0	0	0	0	5		
	3	0	0	0	0	0	0	0		
	4	5	5	0	7	12	12	2		
	5	0	0	0	0	0	0	0		
	6	2	2	0	8	10	10	0		
	7	0	0	0	0	0	0	0		
	8	0	0	0	0	0	0	0		
	9	0	0	0	0	0	0	2		
	10	0	0	0	0	0	0	3		
	11	2	2	0	1	3	3	0		
	12	3	3	0	4	7	7	0		
	13	0	0	0	0	0	0	3		
	14	0	0	0	0	0	0	0		
	15	3	3	0	35	38	7	0		

Slika 1. Istorijski podaci

Pokretni prosek, korišćen za definisanje količine za naručivanje, računat je na osnovu prethodnih 4-8 nedelja, a najbolji efekat na ukupno smanjenje izgubljene prodaje i povećanje izlaza, dobijen je uzimanjem pokretnih proseka aproksimirane tražnje za prethodne 4 nedelje u odnosu na nedelju u kojoj se naručuje. Ukupan rezultat primene modela agregiran je u posebnom radnom listu, gde je upoređeno smanjenje izgubljene prodaje i uticaj modela na povećanje prihoda.

5. ANALIZA REZULTATA

Kako nije bilo moguće pronaći realno dostižan procenat smanjenja izgubljene prodaje nad celokupnom izgubljenom prodajom, metodom ABC analize utvrđeno je 20% proizvoda koji prouzrokuju 80% prodaje, pa je tako simulacija nad modelom sprovedena za ukupno 15 podmodela, za koje nastaje 10% svih nezadovoljenih zahteva (van marketinških kampanja koje moraju biti predmet posebnog modela). Implementacija modela omogućila je smanjenje izgubljene prodaje na nivou podmodela koji beleže najbolje prodajne rezultate (80% ukupne prodaje). Ostvareno je smanjenje izgubljene prodaje od 75%, a primenom modela nad svim podmodelima (vrstama uređaja) postigli bi se još bolji efekti. Ostvarena smanjenja bi mogla biti iskazane i u novcu (ceni mobilnog uređaja koji će prema predloženom modelu biti uspešno prodat). Može se zaključiti da

je nivo prodajne usluge mobilnih uređaja značajno poboljšan primenom predloženog modela.

6. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem upravljanja zalihama pod pretpostavkom stohastičke tražnje. Vrlo malo postojećih radova je prikazalo simulacije u oblasti industrije telekomunikacija. Prikaz studije slučaja omogućio je empirijsku proveru svih teorijskih zaključaka prikazane literature i evaluaciju modela. Ali, efekti analize modela i simulacije se ogledaju i u dopuni i otvaranju novih prilika za istraživanje. Opseg problema u predmetnoj industriji iziskuje modele kojim se dostižu ekstremumi definisane funkcije cilja u zavisnosti od svih kriterijuma. Predstavljeni model je obezbedio smanjenje izgubljene prodaje na prodajnim mestima, čija je primenjivost ispitana putem simulacije. Praktičan doprinos rada ogleda se u podršci upravljanju zalihama mobilnih uređaja, putem definisanja tačke i količine za ponovno naručivanje, za svaki od posmatranih podmodela. Predloženi model daje dobru preporuku količina za naručivanje i momenta za naručivanje koji smanjuje izgubljenu prodaju, ali ne razmatra sve kriterijume i izazove koje realnost pretpostavlja. Glavni nedostatak modela jeste činjenica da povećanje broja porudžbina sigurno dovodi do povećanja troškova transporta i povećanja troškova držanja zaliha. Budući pravci istraživanja uključuju proširenje predloženog modela u pogledu sastava isporuka i maksimizacije prodaje definisane planom. Imajući u vidu sve navedeno, zaključak je da bi kompletan model za upravljanje zalihama mobilnih uređaja obezbedio podlogu za značajno unapređenje poslovanja u konkretnoj oblasti.

LITERATURA

[1] Abuizam, R. (2011). Optimization Of (s, S) Periodic Review Inventory Model with Uncertain Demand and Lead Time Using Simulation. International Journal of Management & Information Systems, 15(1)

[2] Antić, S., Đorđević, L., Kostić, K., & Lisec, A. (2015). Dynamic discrete simulation model of an inventory control with or without allowed shortages. Scientific Bulletin Series A. Applied Mathematics and Physics, 77(1)

[3] Barlow, J. (2003). Excel Models for Business and Operations Management, Wiley, New York

[4] Chen, F.Y., & Krass, D. (2001). Inventory models with minimal service level constraints. European Journal of Operational Research, 1(1)

[5] Đorđević, L., Antić, Čangalović, M., & Lisec, A. (2016). A metaheuristic approach to solving a multiproduct EOQ-based inventory problem with storage space constraints. Optimization Letters, DOI 10.1007/s11590-016-1009-5

[6] Gallego, G., Katircioglu, K., & Ramachandran, B. (2007). Inventory management under highly uncertain demand. Operations Research Letters, 35(3)

[7] Gupta, A., & Maranas, C.D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. Computers and Chemical Engineering, 27

[8] Heikkila, J. (2002). From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction. Journal of Operations Management, 20

[9] Lee, Y.Y., Kramer, B.A., & Hwang, C.L. (1991). A Comparative Study of Three Lot-sizing Methods for the Case of Fuzzy Demand. International Journal of Operations & Production Management, 11(7)

[10] Liu, Q., Zhang, X., Liu, Y., & Lin, L. (2013). Spreadsheet Inventory Simulation and Optimization Models and Their Application in a National Pharmacy Chain. INFORMS Transactions on Education, 14(1)

[11] Mahamani, A., Rao, K.P., & Pandurangadu, V. (2008). The development of a simulation-based approach to optimise the inventory policy in a single-echelon supply chain: a case study. International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies, 1(2)

[12] Mahamani, A., & Rao, K.P. (2010). Development of a spreadsheet based vendor Managed inventory model for a single echelon Supply chain: a case study. Serbian Journal of Management, 5(2)

[13] Rexhausen, D., Pibernik, R., & Kaiser, G. (2012). Customer-facing supply chain practices—The impact of demand and distribution management on supply chain success. Journal of Operations Management, 30

[14] Sezen, B. & Kitapci, H. (2007). Spreadsheet simulation for the supply chain inventory problem. Production Planning and Control-The Management of Operations. 18(1)

[15] Sochko, O. (2010). Modelling Inventory Management System at Distribution Company: Case Study. Scientific Journal of Riga Technical University, 44

[16] Turkay, B., & Alptekin, S.E. (2013). Spreadsheet Heuristic for Stochastic Demand Environments to Solve the Joint Replenishment Problem. World Congress on Engineering I, London, UK

[17] Yao, Y., Kohli, R., Sherer, S.A., & Cederlund, J. (2013). Learning curves in collaborative planning, forecasting, and replenishment (CPFR) information systems: An empirical analysis from a mobile phone manufacturer. Journal of Operations Management, 31

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SIMULACIJA RADA POŠTANSKOG ŠALTERSKOG SISTEMA

SIMULATION OF POSTAL COUNTER SYSTEM

ALEKSANDAR VARJAČIĆ[1], MILORAD STANOJEVIĆ[2]

[1] Saobraćajni fakultet, aleksandar1803@yahoo.com
[2] Saobraćajni fakultet, milorad@sf.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je predstavljena simulacija poštanske šalterske službe. Model je realizovan u programskom jeziku C++. Simulacija realizovanog modela je omogućila analizu kvaliteta opsluge poštanske šalterske službe.*

Ključne reči: *Simulacija, šalterska služba, sistemi masovnog opsluživanja.*

Abstract: *This paper presents the simulation of postal customer service. The model is realised in the programming language C++. The simulation of the realized model enabled the analysis of the quality of the postal customer service.*

Keywords: *Simulation, customer service, queuing systems.*

1. UVOD

Teorija redova predstavlja deo operacionih istraživanja koji se bavi istraživanjem veze zahteva za opslugom i karakteristikama procesa opsluživanja, odnosno mogućnosti zadovoljenja tih zahteva. Ova teorija posmatra se i kao deo primenjene teorije verovatnoće. Svrha simulacije poštanskog šalterskog sistema, kao deo sistema masovnog opsluživanja, je utvrđivanje informacija o ponašanju realnog poštanskog šalterskog sistema razvijanjem modela u cilju njegovog optimalnog planiranja i korišćenja kroz objektno orijentisani pristup rešavanja problema.

Efikasno funkcionisanje šalterskih službi u jedinicama poštanske mreže je jedan od osnovnih preduslova za kvalitetno pružanje poštanskih usluga. Šalterske službe su delovi poštanskog sistema u kojima se odvijaju prva i poslednja faza pružanja poštanskih usluga, pa se u njima vrši interakcija i neposredna komunikacija između klijenata i zaposlenih radnika pošte. Imajući u vidu da je jedna od osnovnih funkcija pošte zadovoljenje potreba korisnika odnosno pružanje poštanskih usluga što kvalitetnije, upravo je šalterska mreža deo poštanskog sistema kome treba posvetiti dosta pažnje prilikom organizovanja i održavanja. Šalterske službe u jedinicama poštanske mreže se mogu posmatrati kao sistemi masovnog opsluživanja sa čekanjem i neograničenim brojem mesta u redu.

Analiza kvaliteta rada šalterske službe se zasniva na primeni teorije masovnog opsluživanja, statističke analize, računarske simulacije uz poznavanje postojećeg načina njihovog funkcionisanja, odnosno ulaznih parametara koji su prikazani u sistemu [4]. U teoriji se kvalitet opsluživanja utvrđuje na osnovu tri kriterijuma, od kojih se kao apsolutni kriterijum usvaja princip da srednje vreme koje klijenti provedu u redu mora biti manje od srednjeg vremena koje provedu na opsluzi.

Predstavljena je simulacija poštanskog šalterskog sistema primenom programskog jezika C++. U drugom poglavlju je pojašnjen objekno orijentisani pristup rešavanju problem. U trećem poglavlju su definisane statistike simulacionog programa koje ćemo analizirati u nastavku rada i koje opisuju ponašanje sistema. Četvrto poglavlje prikazuje parametre ulaznih potoka klijenata i vremena opsluga šalterskih sistema koji su simulirani u radu. U petom poglavlju se pristupilo simulaciji sistema masovnog opluživanja i prikazani su rezultati simulacije šalterske službe primenom objektno orijentisanog programa C++. Na kraju su prikazana zaključna razmatranja i tendencije budućih istraživanja.

2. OBJEKTNO ORIJENTISANI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA

Simulacija je veoma mlada naučna disciplina koja je vezana za razvoj informacionih tehnologija i računarske tehnike. Simulacija se koristi kod rešavanja problema optimizacije stohastičkih sistema. Da bi se sistem

simulirao neophodno je razviti njegov model koji definiše osobine tog sistema. Model predstavlja sam sistem, dok simulacija predstavlja imitaciju procesa koji se odvijaju u sistemu.

Pored velikog broja modela koji su izgrađeni u matematičkoj teoriji masovnog opsluživanja, još uvek ne postoji mogućnost da se reše svi praktični problemi. Često se dešava da sistemi bivaju uglavnom zasnovani na pretpostavkama pa ne prezentuju realni sistem u potpunosti, ili bivaju suviše složeni da bi se rešili matematičkim metodama [1].

Metodologija simulacije zasniva se na računarskim naukama, statistici, numeričkoj matematici i operacionim istraživanjima, ali je danas dovoljno razvijena da može biti posebna naučna disciplina. Simulacija nije obično izvršavanje računarskog programa, nije samo statistički test dobijenih rezultata niti optimizaciona procedura kao linearno programiranje [2].

Simulacioni model ima nekoliko osnovnih blokova koji ga sačinjavaju:

1. Definisanje stanja sistema (tj. broj klijenata – jedinica u sistemu opsluživanja).
2. Identifikacija mogućih stanja sistema.
3. Identifikacija mogućih događaja (tj. dolazak jedinica u sistem i završetak opsluživanja) koji menjaju stanje sistema.
4. Definisanje simulacionog sata, lociranog na nekoj adresi u simulacionom programu, koji beleži prolazak (simulacionog) vremena.
5. Definisanje metoda za slučajno generisanje događaja raznih vrsta.
6. Formula za identifikaciju promene stanja sistema koja se generišu od strane raznih vrsta događaja.

Objektno orijentisano programiranje (OOP) je deo objektne paradigme koja obuhvata osnovne objektne koncepte:

1. Apstraktni tipovi podataka (engl. abstract data types), tip koji je definisao programer, za koji se mogu kreirati instance i koji je predstavljen strukturom i ponašanjem;
2. Enkapsulacija (engl. encapsulation), deo softvera ima jasan definisan interfejs i implementaciju, interfejs je svima dostupan, implementacija je nedostupna;
3. Nasleđivanje (engl. inheritance), jedan tip može da nasledi drugi, sa značenjem da su njegovi objekti jedna vrsta osnovnog tipa;
4. Polimorfizam (engl. polymorphizm), isti interfejs se koristi za različite tipove podataka;

Svaki objekat u objektno orijentisanom programiranju predstavlja samostalnu, zaokruženu, celinu koju možemo uklapati sa drugim objektima u skladu sa potrebama i tako rešavati složenije probleme. Svaki objekat u OOP ima svoja unutrašnja stanja, kao i skup metoda ili akcija koje može da izvrši. Kada govorimo o OOP, neizostavni elementi su klasa i struktura. Klasa je osnovna organizaciona jedinica programa u OOP jezicima. Klasa predstavlja konstrukciju u koju su grupisani podaci (promenljive) i funkcije. Klasom se definiše novi korisnički tip za koji se mogu kreirati instance. Klasa može da predstavlja realizaciju apstrakcije iz domena problema. Svaki objekat (instanca) ima sopstvene elemente koji su navedeni u deklaraciji klase. Ovi elementi klase nazivaju se članovi klase (engl. class members). Članovi klase dostupni spolja nazivaju se javnim članovima (engl. public). Sa druge strane, članovi koji su nedostupni korisnicima klase (ali ne i članovima klase) nazivaju se privatnim (engl. private). Da bi objekat bio inicijalizovan, u klasi se definiše posebna funkcija koja se implicitno (automatski) poziva kada se objekat poziva. Ova funkcija se naziva konstruktor (engl. constructor) i nosi ime kao i klasa. Moguće je definisati i funkciju koja se poziva uvek kada objekat prestaje da živi. Ova funkcija naziva se destruktor (engl. destructor). Nasleđivanje je osobina klase da nasleđuje članove neke druge klase. Nasleđivanjem, članice zadržavaju dostupnost koja je postojala i u roditeljskoj klasi prema korisnicima klase. Funkcija članica koja ća u izvedenim klasama imati nove verzije, deklariše se u osnovnoj klasi kao virtuelna funkcija (engl. virtual function) [3].

3. STATISTIKE SISTEMA MASOVNOG OPSLUŽIVANJA

Predmet teorije masovnog opsluživanja (TMO) je određivanje funkcionalnih veza između pokazatelja efektivnosti funkcionisanja sistema masovnog opsluživanja (SMO) - verovatnoće opsluživanja zahteva (klijenata), verovatnoće otkaza sistema, dužine reda, vremena čekanja klijenata i karakteristika potoka zahteva za opsluživanjem, vremena opsluge zahteva, strategije opsluge [1].

Interesantno je pomenuti da je veliki engleski matematičar David G. Kendall, u radu koji je publikovao u časopisu Kraljevskog statističkog društva prvi upotrebio i termin "queueing system", još daleke 1951. godine (Kendall, 1951). Saglasno Kendalovoj notaciji za opis tipa modela SMO koristi se sledeća generalna forma: A/ B/ C/ D/ E/ F, pri čemu slovne oznake imaju sledeće značenje [1]:

- A – priroda ulaznog potoka (M-Puasonov, tj. Markovski proces, D-konstantno vreme između klijenata, Ek-Erlangov reda k, Hk-Hiper eksponencijalna reda k)
- B – karakter vremena opsluge (oznake kao i za prirodu ulaznog potoka)

- C – broj kanala opsluživanja S (S ≥1)
- D – disciplina opsluge (FCFS/First Come First Served/– prvi došao, prvi opslužen; LCFS/Last Come First Served/ –poslednji došao, prvi opslužen, SIRO/Service In Random Order/ – opsluga prema slučajnom redosledu,..., GD – generalna disciplina opsluge)
- E – kapacitet sistema C, koji obuhvata broj mesta u redu (C≥1, S ≤C)
- F – veličina populacije

Primena TMO na šalterskim sistemima se realizuje u dva osnovna pravca: analiza performansi sistema, optimalno dimenzionisanje sistema. Analiza performansi sistema može se opisati kao direktna primena TMO, koja se odnosi na utvrđivanje jedne ili više veličina, sa ciljem da se sagledaju neke od karakteristika sistema za definisanu strukturu i karakteristike elemenata sa jedne i parametara zahteva koji se realizuju sa druge strane.

3.1. Statistike sistema

U nastavku rada su prikazani parametri odnosno statistike sistema koje će biti simulirane u objektno orijentisanom programskom jeziku C++. Statistike poštanskih šalterskih sistema koje smo analizirali su [3]:

$R(t)$ - trenutni broj klijenata u sistemu

J_R - broj promena u sistemu u toku simulacije

t_R^i - vremenski trenuci u kojima se menja stanje sistema

N_R - broj entiteta koji je ušao u sistem u toku simulacije

n_R - broj kanala opsluge

W_R^i - vreme opsluge i-tog entiteta

T - vreme simulacije

Srednji broj zauzetih kanala [3]:

$$\bar{R} = \frac{1}{T}\int_0^T R(\tau)\,d\tau = \frac{1}{T}\left[\sum_{i=1}^{J_R-1} R(t_R^i)(t_R^{i+1} - t_R^i) + R(t_R^{J_R})(T - t_R^{J_R})\right] \quad (1)$$

Srednje vreme opsluge [3]:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^{N_R - R(T)} W_R^i}{N_R - R(T)} \quad (2)$$

Iskorišćenost [3]:

$$\rho = \frac{\bar{R}}{n_R} \quad (3)$$

3.2. Statistike reda čekanja

U ovom delu rada su prikazane statistike i parametri reda čekanja na šalterima opsluge. Redovi čekanja su veoma važan korak u analiziranju efikasnog i efektivnog funkcionisanja poštanskih šalterskih sistema. Statistike koje su simulirane su sledeće [3]:

$Q(t)$ - trenutni broj klijenata u redu čekanja

J_Q - broj promena stanja u redu čekanja u toku simulacije

t_Q^i - vremenski trenuci u kojima se menja stanje reda čekanja

N_Q - broj entiteta koji je ušao u red čekanja u toku simulacije

N_Q^i - broj entiteta koji je ušao u sistema ali se nije zadršavao u redu čekanja

W_Q^i - vreme čekanja i-tog klijenta

T - vreme simulacije

Srednja dužina reda čekanja [3]:

$$\bar{Q} = \frac{1}{T}\int_0^T Q(t)\,dt = \frac{1}{T}\left[\sum_{i=1}^{J_Q-1} Q(t_Q^i)(t_Q^{i+1} - t_Q^i) + Q\left(t_Q^{J_Q}\right)\left(T - t_Q^{J_Q}\right)\right] \quad (4)$$

Srednje vreme čekanja [3]:

$$\overline{W_Q} = \frac{\sum_{i=1}^{N_Q - Q(T)} W_Q^i}{N_Q - Q(T)} \tag{5}$$

Srednje vreme čekanja uključujući one klijente koji se nisu zadržali u redu [3]:

$$\overline{W_Q^i} = \frac{\sum_{i=1}^{N_Q - Q(T)} W_Q^i}{N_Q - N_Q^i - Q(T)} \tag{6}$$

3.3. Parametri SMO M/M/n/∞

λ - intenzitet dolazaka
μ - intenzitet opsluživanja
Verovatnoća da je sistem prazan [3]:

$$P_0 = \left[\sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j \frac{1}{j!} + \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{n\lambda}{n\mu - \lambda}\right]^{-1} \tag{7}$$

Srednja dužina reda čekanja [3]:

$$\overline{k_r} = \frac{P_0 \lambda \mu (\lambda/\mu)^n}{(n-1)!(n\mu - \lambda)^2} \tag{8}$$

Srednje vreme čekanja u redu [3]:

$$\overline{t_r} = \frac{\overline{k_r}}{\lambda} \tag{9}$$

Srednje vreme opsluge [3]:

$$\overline{t_0} = \frac{1}{\mu} \tag{10}$$

Iskorišćenost [3]:

$$\rho = \frac{\lambda}{n\mu} \tag{11}$$

4. SIMULACIJA RADA POŠTANSKE ŠALTERSKE SLUŽBE

Najveći deo modela TMO, kod kojih postoje egzaktna rešenja, odnosi se na one sisteme kod kojih su potoci klijenata Puasonovski, a vreme opsluge podleže eksponencijalnoj raspodeli. Veliki broj procesa u realnim sistemima ima ove karakteristike, pa tako na primer, dolazak klijenata na poštanske šaltere najčešće i ima karakteristike Puasonovog potoka događaja, odnosno karakteristike približne ovom. Simulacija, kao naučna disciplina pruža mogućnost primena i empirijskih raspodela, što daje realniju sliku o sistemu koji se simulira.

4.1. Ulazni parametri jedinice poštanske mreže

Posmatraćemo jedinicu poštanske mreže koja ima dva šaltera za univerzalne usluge (uplate/isplate) i jedan šalter za pismonosne pošiljke (paketski šalter). Vreme opsluge na univerzalnim šalterima je eksponencijalno raspodeljeno sa sa srednjim vremenom koje zavisi od vrste usluge, a prema tabeli 1.

Tabela 1: Vrste usluga, verovatnoće izbora usluga i srednje vreme opsluge

Vrsta usluge	Verovatnoća izbora usluge	Srednje vreme opsluge (s)
Isplate na POS terminalima	0,3	30
Uplate telefonskih računa	0,15	35
Uplate komunalnih usluga	0,25	25
Nalog za uplatu	0,3	50

Na šalter za pismonosne pošiljke klijenti dolaze po erlangovom zakonu sa srednjim vremenom od 180 sekundi. Vreme opsluge na šalteru za pismonosne pošiljke ima normalnu raspodelu sa srednjim vremenom

od 150 sekundi i standardnom devijacijom od 60 sekundi, sa tim da to vreme ne može da bude manje od 15 sekundi. Svaki šalter ima nezavistan red čekanja.

Simulacija je obavljena za vremenski period od 11h. Vremenska jedinica je 1 sekunda. Kod glavnog programa simulacije je prikazan u prilogu. U nastavku rada su prikazani rezultati simulacije.

4.2. Rezultati simulacije

Statistike prvog univerzalnog šaltera:

- Broj klijenata koji su došli na šalter: 634
- Preostali broj klijenata na šalteru: 1
- Maksimalni broj zauzetih kanala opsluge: 1
- Srednje vreme opsluge: 35.281 s
- Srednji broj zauzetih kanala: 0.565142
- Iskorišćenost: 0.565142 %

Statistike prvog reda čekanja:

- Broj klijenata koji je ušao u red čekanja: 635
- Preostali broj klijenata u redu čekanja: 1
- Maksimalni broj klijenata u redu: 4
- Srednje vreme čekanja u redu: 16.8627 s
- Srednji broj klijenata u redu: 0.270664
- Broj klijenata koji je prošao kroz red bez zadržavanja: 428
- Procenat ulaza bez zadržavanja: 67.4016 %
- Srednje vreme čekanja u redu: 51.8977 s

Statistike drugog univerzalnog šaltera:

- Broj klijenata koji je usao u resurs: 432
- Preostali broj klijenata na šalteru: 0
- Maksimalni broj zauzetih kanala opsluge: 1
- Srednje vreme opsluge: 37.5127
- Srednji broj zauzetih kanala: 0.40923
- Iskorišćenost: 0.40923 %

Statistike drugog reda čekanja:

- Broj klijenata koji je ušao u red cekanja: 432
- Preostali broj entiteta u redu čekanja: 0
- Maksimalni broj klijenata u redu: 3
- Srednje vreme čekanja u redu: 13.3393 s
- Srednji broj klijenata u redu: 0.145519
- Broj klijenata koji je prošao kroz red bez zadržavanja: 301
- Procenat ulaza bez zadržavanja: 69.6759 %
- Srednje vreme čekanja u redu: 43.989 s

Statistike pismonosnog šaltera:

- Broj klijenata koji su došli na šalter: 222
- Preostali broj klijenata na šalteru: 1
- Maksimalni broj zauzetih kanala opsluge: 1
- Srednje vreme opsluge: 157.064 s
- Srednji broj zauzetih kanala: 0.879194
- Iskorišćenost: 0.879194 %

Statistike reda na pismonosnom šalteru:

- Broj klijenata koji je ušao u red čekanja: 228
- Preostali broj entiteta u redu čekanja: 6
- Maksimalni broj klijenata u redu: 8
- Srednje vreme čekanja u redu: 330.524 s
- Srednji broj klijenata u redu: 1.9275
- Broj klijenata koji je prošao kroz red bez zadržavanja: 38
- Procenat ulaza bez zadržavanja: 16.6667 %
- Srednje vreme čekanja u redu: 398.785 s

5. ZAKLJUČAK

Analiza opsluge šalterske službe je jedan od ključnih parametara određivanja kvaliteta pružanja usluga klijentima. U radu je prestavljena simulacija jednog šalterskog sistema u programskom jeziku C++ i utvrđene su statistike na šalterima pružanja usluga i u redu čekanja. Simulacija omogućava poboljšanja funkcionisanja šalterskog sistema i pomaže u što boljem određivanju parametara jednog realnog sistema i u otklanjanju uskih grla i zagušenja u redovima čekanja.

Rezultati simulacije prikazuju bolje funkcionisanje prvog univerzalnog šaltera na kome je opsluženo čak 203 korisnika više nego na drugom univerzalnom šalteru. Razlog tome se može naći u izboru usluge klijenata koji dolaze na opslugu na drugi univerzalni šalter, gde je srednje vreme opsluge veće nego kod prvog univerzalnog šaltera. Iskorišćenost prvog univerzalnog šaltera je mnogo veća nego drugog što je direktno povezano sa boljim vremenom opsluge na prvom univezalnom šalteru. Kako je kriterijum kvaliteta pružanja usluga vezan za vreme opsluge na šalterima, zaključuje se da je usluga koja se pruža na prvom univerzalnom šalteru visoko kvalitetna.

Rezultati simulacije paketskog šaltera su prikazali veliku iskorišćenost istog, na kome je preostao samo jedan klijent neopslužen. Vreme opsluge je jako visoko, što je povezano sa složenošću opsluge koja se pruža na paketskom šalteru. Međutim vreme čekanja na paketskom šalteru je jako dugo. Predlog modifikacije sistema bi bio da u vršnim časovima dolazaka klijenata se uvede pomoćni paketski šalter kako bi se smanjilo vreme čekanja u redu.

Dalja istraživanja simulacije šalterske službe se mogu proširiti uvođenjem određenih ograničenja i proširivanjem ulaznih parametara. Na univerzalnim šalterima se može uvesti umesto nezavinih redova čekanja, zajednički red čekanja. Može se simulirati sa više šaltera opsluge i odrediti potreban broj šaltera. Može se proširiti spektar usluga koje se pružaju na univerzalnim šalterima.

LITERATURA

[1] Vukadinović S. (1983). Elementi teorije masovnog opsluživanja, Saobraćajni fakultet, Beograd.

[2] Radenković B., Stanojević M., Marković A. (2009). Računarska simulacija, FON i Saobraćajni fakultet, Beograd.

[3] Saobraćajni fakultet, http://nastava.sf.bg.ac.rs/mod/folder/view.php?id=8830 - [Pristupano: 12.05.2017.].

[4] Stanojević M. (1996). Simulaciona analiza funkcionisanja šalterske službe u PTT-u. Četrnaesti naučno stručni simpozijum o novim tehnologijama u PTT-u, Zbornik radova, Saobraćajni fakultet, Beograd.

PRILOG

```
void izvrsi_dan() {
	entitet *e1 = simu.napravi_entitet();
	simu.rasporedi(e1, DOLAZAK_UNI_KLIJENTA, rn1.expo(SRVRDOLUNI[0]));
	entitet *e2 = simu.napravi_entitet();
	simu.rasporedi(e2, DOLAZAK_PAK_KLIJENTA, rn3.expo(SRVRDOLPAK / 2) + rn4.expo(SRVRDOLPAK / 2));
	entitet *e3 = simu.napravi_entitet();
	simu.rasporedi(e3, KRAJ_SIMULACIJE, 3600.0);
	simu.izvrsi(11);
	finisiraj_statistike();
	stampaj_statistike();
	ocisti();
	simu.ocisti();
}
int main() {
	cout << "Prvi dan" << endl;
	izvrsi_dan();
	return 0;
}
```

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

MARTINGALE I NEJEDNAKOSTI

VLADIMIR BOŽIN[1], BOBAN KARAPETROVIĆ[1], MILICA JOVALEKIĆ[2]

[1] Matematički fakultet, Beograd, bozinv@turing.mi.sanu.ac.rs
[2] Elektrotehnički fakultet, Beograd

Rezime: *U radu se razmatraju neke nejednakosti vezane za martingale - uopštenja klasičnih maksimalnih Dubovih nejednakosti, kao i nejednakost Burkholdera sa primenom na računanje norme Bjurling-Alforsove transformacije.*

Ključne reči: *Martingale, Stohastički procesi.*

Abstract: *In this paper we consider some martingale inequalities - generalizations of classical maximal inequalities of Doob, as well as Burkholder's inequality with application to calculation of norm of Beurling-Ahlfors transformation.*

Keywords: *Martingale, Stochastic process.*

1. UVOD

Martingale predstavljaju jedan od centralnih koncepata u teoriji stohastičkih procesa, sa brojnim primenama, od finansijskog modeliranja i finansijskih derivata, pa do teorijske matematike. Pojam vodi poreklo iz strategija klađenja i igara na sreću, a u teoriju verovatnoće uveden je tridesetih godina prošlog veka radovima Pola Levija, Žana Vila i Džozefa Duba. Pod martingalom se podrazumeva stohastički proces u kome je očekivanje buduće vrednosti promenljive jednako ostvarenoj vrednosti u datom trenutku. Primeri martingala uključuju slučajnu šetnju i Braunovo kretanje.

Preciznije, neka je Ω prostor elementarnih događaja sa σ-algebrom $\mathcal{F}$, i odgovarajućom verovatnosnom merom **P**, tada je diskretna martingala niz slučajnih promenljivih X_n, merljivih u odnosu na σ-algebru $\mathcal{F}_n$, takvih da je $\mathcal{F}_n \subseteq \mathcal{F}_{n+1} \subseteq \mathcal{F}$, da su očekivanja apsolutnih vrednosti (tj. L^1 norme u odnosu na verovatnosnu meru) $E(|X_n|)$ konačna, i da za svaki događaj A iz $\mathcal{F}_n$, važi da je uslovno očekivanje X_n jednako uslovnom očekivanju za X_{n+1}, tj.

$$E(X_n \mid A) = E(X_{n+1} \mid A). \tag{1.1}$$

Na primer, u slučaju slučajne šetnje, elementarni događaji biće putanje, dok će σ-algebra $\mathcal{F}_n$ biti generisana skupovima puteva sa zajedničkih prvih n koraka. Analogno se može definisati i martingala u slučaju vremenskog kontinuuma.

Nejednakosti vezane za martingale razmatrao je još Džozef Dub (Joseph Doob). Tako, klasične Dubove nejednakosti za martingale date su u sledećem tvrđenju:

Dubove maksimalne nejednakosti za martingale: Neka je $X_1, X_2, \ldots X_n$ niz nenegativnih slučajnih promenljivih koje čine martingalu. Neka su slučajne promenljive M i N zadate kao $M=max(X_j)$ i $N=min(X_j)$. Tada važe nejednakosti

$$C \cdot \mathbf{P}(M \geq C) \leq E(X_n \cdot 1_{M \geq C}), \tag{1.2}$$

$$C \cdot \mathbf{P}(N \leq C) \geq E(X_n \cdot 1_{N \leq C}), \tag{1.3}$$

gde je C bilo koji pozitivan broj, a $1_{M \geq C}$ i $1_{N \leq C}$ predstavljaju indikatore odgovarajućih događaja.

Sa ovim nejednakostima za maksimum i minimum diskretne martingale usko je povezana i sledeća klasična **Dubova maksimalna nejednakost**:

$$E(M) \leq \frac{e}{e-1}(E(X_1(1-\ln X_1)) + E(X_n \ln X_n)), \tag{1.4}$$

koja daje procenu za očekivanje maksimalne vrednosti u zavisnosti od vrednosti s kraja putanje. Takođe, za $p>1$, važi **Dubova maksimalna nejednakost za L^p norme**:

$$E(M^p) \le \left(\frac{p}{p-1}\right)^p E(X_n{}^p), \tag{1.5}$$

odnosno $\|M\|_p \le \frac{p}{p-1}\|X_n\|_p$. Nejednakost (1.4) može se shvatiti kao interpretacija nejednakosti (1.5) za p=1.

2. UOPŠTENJA DUBOVIH MAKSIMALNIH NEJEDNAKOSTI

U radu [1], Haremos je razmatrao uopštenja nejednakosti (1.4), kao i srodne nejednakosti, u sledećem smislu. Najpre, izvršio je normalizaciju martingale, tako da je očekivanje svih slučajnih promenljivih jednako 1, što uzima i za inicijalnu vrednost martingale.

Potom, zanima ga pitanje ocena očekivanja za slučajne promenljive *M* i *N,* u zavisnosti od očekivanja

$$E(X_n \ln X_n). \tag{2.1}$$

Uz datu normalizaciju, očekivanje (2.1) se može interpretirati u terminima teorije informacija kao Kulbak-Lejblerova divergencija (asimetrična mera rastojanja) dve distribucije verovatnoće.

Ako se uvede funkcija

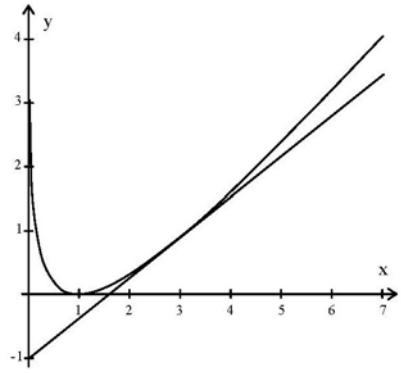
$$\gamma(x) = x - 1 - \ln x \tag{2.2}$$

koja je za pozitivne x nenegativna, konveksna i dostiže minimum za x=0, tada je pokazano, korišćenjem nejednakosti (1.1) i (1.2), da, uz inicijalnu vrednost martingale fiksiranu na 1 i nenegativnost promenljivih martingale, važe nejednakosti

$$\gamma(E(M)) \le E(X_n \ln X_n), \tag{2.3}$$

$$\gamma(E(N)) \le E(X_n \ln X_n), \tag{2.4}$$

koje zapravo daju gornje ograničenje za *E(M)* i donje ograničenje za *E(N)* u funkciji očekivanja iz (2.1).



Slika 1: Grafik funkcije γ leži iznad Dubove granične prave s koeficijentom $\frac{e}{e-1}$.

Nejednakost (2.3) popravlja nejednakost (1.4), i samo kada je odnos $\frac{E(M)}{E(X_1)} = e$ Dubova ocena je optimalna. U radu [1] pokazano je da su nejednakosti (2.3) i (2.4) oštre, tako da $\gamma(E(M))$ predstavlja infimum za (2.1) pri zadatoj vrednosti *E(M),* a $\gamma(E(N))$ supremum za (2.1) pri zadatoj vrednosti *E(N).* Implicitno, određena je tako i maksimalna moguća vrednost za *E(M)* i minimalna moguća vrednost za *E(N),* pri zadatoj vrednosti očekivanja (2.1).

Postavlja se pitanje kolika je maksimalna moguća vrednost za *E(M-N),* pri zadatoj vrednosti očekivanja (2.1). Recimo, može se lako pokazati da je, pri zadatom *E(M-N)≥1,* infimum očekivanja (2.1) između $\gamma(E(M-N))$ i $\gamma(E(M-N))+1$. Zapravo, nejednakosti (2.3) i (2.4) daju uži interval od ovoga, ali tačna vrednost infimuma (2.1) pri zadatom *E(M-N),* a time i maksimalne moguće vrednosti za *E(M-N)* pri zadatom očekivanju (2.1), nije poznata.

Napomenimo i par ograničenja pristupa iz rada [1]. Najpre, Dubove maksimalne nejednakosti zapravo važe i opštije, za submartingale, tj. stohastičke procese kod kojih se očekivanje buduće vrednosti promenljive ne smanjuje u odnosu na trenutnu vrednost. Takođe Dubove nejednakosti ne pretpostavljaju inicijalnu vrednost promenljive. U radu [1] se ne razmatraju submartingale, i fiksira se vrednost u početnom trenutku,

što utiče na vrednost maksimuma i minimuma, tj. promenljivih M i N. Postavlja se pitanje u kojoj meri je ova ograničenja moguće otkloniti.

3. TRANSFORMACIJA MARTINGALA I BURKHOLDEROVA NEJEDNAKOST

Neka su date martingale $\{X_n\}$ i $\{Y_n\}$, tada kažemo da je Y martinglska transormacija X ako važi za sve $n\geq 1$

$$|Y_n - Y_{n-1}| \leq |X_n - X_{n-1}| \tag{3.1}$$

skoro svuda u odnosu na verovatnosnu meru. Primetimo da ako su X i Y martngalske transformacije jedna druge, i biće

$$|Y_n - Y_{n-1}| = |X_n - X_{n-1}| \tag{3.2}$$

skoro svuda za sve $n\geq 1$, a ako su X_0 i Y_0 jednaki 0, onda su X_1 i Y_1 jednaki po apsolutnoj vrednosti, skoro svuda u odnosu na verovatnosnu meru.

Kada martingale uzimaju kompleksne vrednosti, i pri uslovu su X_0 i Y_0 jednaki 0, a Y je martinglska transormacija X, u radovima [2] i [3] Burkholder je dokazao nejednakost, za $p>1$, i

$$\|X\|_p = \sup_n \|X_n\|_p \tag{3.3}$$

da važi **Burkholderova nejednakost:**

$$\|Y\|_p \leq (p^* - 1)\|X\|_p \tag{3.4}$$

gde je za $p\geq 2$, $p^*=p$, a za $1<p<2$, $p^* = \dfrac{p}{p-1}$ je konjugovani eksponent eksponenta p. Ispostavlja se da Burkholderova nejednakost potencijalno ima primenu na jednu važnu hipotezu iz Kompleksne analize, vezanu za ocenu norme Bjurling-Alforsove transformacije.

4. BJURLING-ALFORSOVA TRANSFORMACIJA I PRIMENA MARTINGALA

Neka je f kompleksna funkcija u kompleksnoj ravni, sa kompaknim nosačem. Bjurling-Alforsova transformacija S zadovoljava

$$S\left(\frac{\partial f}{\partial \bar{z}}\right) = \frac{\partial f}{\partial z} \tag{4.1}$$

Pitanje o normi Bjurling-Alforsove transformacije na L^p prostorima je od velikog značaja i ima brojne primene u kompleksnoj analizi, teoriji kvazikonformnih preslikavanja ravni i Tajkmilerovoj teoriji. Hipoteza Ivanjeca iz 82. godine je da važi

$$\|f_z\|_p \leq (p^* - 1)\|f_{\bar{z}}\|_p \tag{4.2}$$

što bi, obzirom na primer Lehta od ranije, značilo da je (p^*-1) norma Bjurling Alforsove transformacije. Pada u oči sličnost nejadnakosti (4.2) s nejednakošću (3.4). Ispostavlja se, da postoji mogućnost da se Burkholderova nejednakost primeni, kako bi se dobila nejednakost (3.4). U radu [4], Hikkanen je 2011 godine pokušao upravo ovakav pristup.

Najpre, ispostavlja se da je za dokaz nejednakosti (4.2) dovoljno posmatrati deo po deo linearne funkcije. Polazeći od neke (konačne) triangulacije pravougaonika, definišu se σ-algebre, koje su generisane skupom trouglova triangulacije, ili nekim unijama ovih trouglova. Hikkanen je uspeo da, u slučaju jedne konkretne triangulacije, definiše martingalske transformacije tako da iz njih dobije nejednakost (4.2), za funkcije koje su deo po deo linearne na zadatoj triangulaciji. Uspostavio je i hipotezu kako bi se ovo uradilo u opštem slučaju, međutim, njegov program izgleda da ima problema i hipoteza, kako je on postavio, ne mora obavezno važiti. Uprkos tome, ovaj pristup izgleda obećavajuće za rešavanje ovog važnog problema kompleksne analize.

5. ZAKLJUČAK

Videli smo nekoliko važnih i poznatih nejednakosti vezane za martingale, od klasičnih Dubovih, do nešto novije Burkholderove nejednakosti. Takođe, videli smo da ove nejednakosti imaju važne primene, ne samo u oblasti stohastičkih procesa i stohastičkog modeliranja, gde bi se primene martingala prirodno mogle očekivati, već i u teorijskoj matematici, u oblasti kompleksne analize, gde ova primena nije nikako očigledna.

LITERATURA

[1] Harremoes, P., (2008), Some new maximal inequalities, Statist. Probab. Lett. 78 2008, 2776−2780

[2] Burkholder, D.L., (1984), Boundary value problems and sharp inequalities for martingale transforms, Ann. Probability 12 1984, 647-702.

[3] Burkholder, D.L., (1988), Sharp inequalities for martingales and stochastic integrals, Asterisque 157-158 1988, 75-94

[4] Hikkanen, A., (2011), A conjecture on martingales and rotations, Contemporary Mathematics, vol. 553, AMS, 2011, 99-123

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

SIMULACIONI MODEL PLATFORME ZA DEICING I ANTI-ICING AERODROMA „NIKOLA TESLA“ U BEOGRADU

THE SIMULATION MODEL OF A DEICING AND ANTI-ICING FACILITY OF THE AIRPORT “NIKOLA TESLA” BELGRADE

DRAGAN KITANOVIĆ, MARKO ĐOGATOVIĆ, MILORAD STANOJEVIĆ

Univerzitet u Beograd - Saobraćajni Fakultet,
dragankitanovic@ymail.com, m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, milorad@sf.bg.ac.rs

***Rezime**: U zimskim uslovima eksploatacije vazduhoplova neophodno je pre poletanja vazduhoplova obavljanje operacija odleđivanja (Deicing) i sprečavanje ponovnog zaleđivanja kritičnih površina vazduhoplova (Anti-icing). Ove procedure se obavljaju da bi se poletanje izvršilo bezbedno i da ne bi došlo do gubitka performansi vazduhoplova koje nastaju usled prisustva leda i snega na površinama vazduhoplova. Operacije sa ovim ciljem se vrše na posebnim platformama za Deicing i Anti-icing, na kojima dolazi do zagušenja zbog velikog obima saobraćaja što uzrokuje kašnjenja u poletanju i remećenje redovnog odvijanja saobraćaja. Kako bi se negativni efekti umanjili i poboljšala organizacija aktivnosti na aerodromima, kao jedna od metoda koristi se simulacija za analizu i planiranje postejećih aktivnosti na platformi.*

Ključne reči: odleđivanje, sprečavanje ponovnog zaleđivanja, aerodrom, simulacija, animacija

***Abstract:** During winter operations, it is necessary to perform De-icing procedures prior to airplane take-off. These operations are important for the safety of the aircraft during take-off. A buildup of ice or snow on the aircraft surface disrupts the air flow and reduces lift. The Deicing and Anti-icing operations are performed at special platforms called Deicing pads. One of the methods that can be used for the analysis and planning of the Deicing and Anti-icing operations is the discrete-event simulation.*

***Keywords:** Deicing, Anti-icing, airport, simulation, animation*

1. UVOD

Za vreme stajanja aviona na platformi aerodroma, na površinama krila, repnim površinama i trupu, nagomilavaju se padavine u vidu snega, ili kiše koja se usled niskih temperatura ledi i stvara film preko površina. Uticaji ovakve akumulacije na avionu su: povećana težina, narušavanje aerodinamičkih karakteristika, povećanje potrebne brzine za poletanje i povećanje potrebne dužine staze za poletanje.

Tokom zimske eksploatacije vazduhoplova, na aerodromima se pre poletanja vazduhoplova obavljaju aktivnosti na uklanjanju leda sa površina i sprečavanju ponovnog nastanka leda. Ove operacije se obavljaju na samoj parking poziciji na platformi terminala, na rulnim stazama ili posebnim platformama za tu namenu (Mirković 2011).

Stalni porast obima saobraćaja na aerodromima, zahteva dobru kordinaciju aktivnosti na prihvatu i otpremi vazduhoplova pa se svako nepotrebno zadržavanje i zastoj nastoji eliminisati. Kao rešenje problema zadržavanja radi Deicing i Anti-icing operacija na parking pozicijama, čime se smanjuje propusna moć aerodromske infrastrukture, izgrađene su platforme za ovu namenu. Jedan od načina za analizu propusne moći platforme i vremena zadržavanja vazduhoplova je primenom stohastičke simulacije.

Simulacija je skup tehnika, metoda i alata za razvoj simulacionog modela realnog sistema i korišćenje tog modela u cilju opisivanja ponašanja sistema. Svrha simulacije je da razvije simulacioni model i sprovede eksperimente nad simulacionim modelom u cilju boljeg razumevanja realnog sistema (Radenković 2007).

Aviokompanije kao korisnici aerodroma žele da ostvare što veći obim saobraćaja uz što manje troškove. Troškovi se mogu posmatrati i kao vreme koje vazduhoplov provede u neophodnim operacijama prihvata i otpreme na aerodromu. U svrhu analize vremena zadržavanja vazdhoplova aerodromu, koje je uslovljeno operacijama na platformi za Deicing i Anti-icing Aerodroma “Nikola Tesla” - Beograd u radu je realizovan simulacioni model kojim će biti evaluirana postojeća organizacija i eventualno dat predlog poboljšanja

organizacije postojećih procedura. Takođe, u svrhu prezentacije i verifikacije realizovanog simulacionog modela razvijen je i animacioni model simuliranog sistema.

2. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI ASPEKTI DEICING I ANTI-ICING PROCEDURE

Stvaranje leda i akimuliranje padavina je moguće na čitavoj površini vazduhoplova ali je takva pojava posebno opasna na delovima koji se smatraju kritičnim tačkama u smislu narušavanja performansi vazduhoplova. Naslage unutar otvora komandnih površina mogu dovesti do težeg upravljanja avionom ili do potpunog gubitka upravljivosti i nekontrolisanog leta. Uzrok nekih katastrofalnih nesreća u vazdušnom saobraćaju, upravo su bile naslage na komandnim površinama aviona i krilima, usled kojih je došlo do gubitka uzgona u poletanju i pada vazduhoplova. Pored toga, kao uzroci nesreća ranije su se javljali i otkazi tehničkih sistema koji su posledica zaleđivanja senzora statičkog pritiska, nagibnog ugla, visinomera i drugih barometarskih instrumenata. Iz ovih razloga, pri vršenju operacija odleđivanja i sprečavanja zaleđivanja, posebno se obraća pažnja na održavanje otvora i senzora ovih sistema, koji se na poseban način obavlja (Mirković 2011).

Jedna od kritičnih tačaka u smislu zaleđivanja je i usisnik kod mlaznih i turbofenskih motora ili lopatice kod turboprop motora. Nakon gašenja motora, ne dolazi odmah do nakupljanja snega i leda u usisniku već se ta masa otapa i može dospeti dublje u motor i potom se zalediti po hlađenju motora. Ponovnim startovanjem motora mogu se izazvati velika oštećenja motora. Kod turboprop motora, najveće naslage leda se nagomilavaju na lopaticama, i to po pravilu na lopatici okrenutoj ka zemlji zbog gravitacije, čime se menja centar gravitacije propelera. Startovanjem ovakvog motora dolazi do povećanih vibracija koje mogu izazvati i lom propelera i uništenje motora. Pregled motora i aktivnosti u vezi sa odleđivanjem na motorima se iz ovih razloga obavljaju pre starovanja motora na samoj platformi (Mirković 2011).

Pojava leda na gornjoj površini krila je moguća na svim tipovima aviona, a posebno je važno ovakvu akumulaciju na krilima očistiti i sprečiti nastajanje kod aviona sa motorima koji se nalaze pozadi, kako akumulacija ne bi dospela u motore aviona. Sloj nevidljivog leda na gornjoj površini krila posebno blizu trupa, tačno ispred usisne zone motora se naziva fenomenom čistog leda. Ova pojava se može javiti i pri višim temperaturama vazduha, čak do 15°C, zbog efekta koji stvara ohlađeno gorivo u rezervoarima krila tokom leta na velikim visinama. Zbog toga se fizička kontrola prisustva leda na krilima obavlja i pri višim temperaturama, kada postoje padavine ili velika vlažnost vazduha. Pored gornje površine krila, posebno se obraća pažnja na odleđivanje i tretman napadne ivice krila. Ukoliko na napadnoj ivici krila postoji akumulacija padavina, dolazi do poremećaja opstrujavanja oko krila, što znatno narušava aerodinamičke performanse. Kako do ovakve pojave ne bi dolazilo tokom leta u napadnu ivicu krila mnogih savremenih tipova aviona ugrađeni su tehnički sistemi za zaštitu od zaleđivanja.

Pored navedenih kritičnih tačaka za pojavu zaleđivanja na avionima, kritični su i delovi stajnog trapa i sistem za uvlačenje stajnog trapa i vrata otvora. U slučaju vožnje preko površina sa akumulacijama padavina, na stajnim organima dolazi do nakupljanja leda, lapavice ili snega. Nakupljen materijal se može otkinuti i ukoliko je u pitanju nosni stajni trap, dospeti u usisnke motora i izazvati havariju motora. Osim toga, opasnost se ogleda i u tome što nakupljeni materijal po poletnju bude uvučen zajedno sa stajnim organima u otvore, što može kasnije izazvati probleme sa tehničkom ispravnošću stajnog trapa (Mirković 2011).

Proces odleđivanja vazduhoplova se može vršiti na različite načine a neki od njih su: hemijsim sredstvima (prskanje različitim fluidima), toplim vazduhom ili infrared tehnologijom.

Najčešće korišćen način vršenja ove procedure je prskanje hemijskim sredstvima. Za tu namenu koriste se sledeći tipovi fluida (Kazda 2007):

Tip I – Njutnovski fluidi na bazi mešavine zagrejanog glikola i vode u određenom odnosu za De-icing

Tip II i IV – Ne-Njutnovski fluidi na bazi nerazređenog propilen glikola (PG) za Anti-icing.

Pored ove dve osnovne kategorije fluida, postoje i fluidi Tip III čiji je razvoj obustavljen i fluidi bez glikola koji su u postupku istraživanja i razvoja zbog velikog negativnog uticaja na životnu sredinu koji ima razlaganje glikola.

Tečnosti tipa I imaju malu viskoznost i narandžaste su boje a sastav je: 80% monoetilen glikol, dietilen glikol, monopropilen glikol ili mešavine sva tri elementa uz ostatak vode.

Tečnosti tipa II imaju nešto veću viskoznost i otpornost na klizanje usled povećanja pritiska u odnosu na Tip I, uz providnu boju. Sastav Tipa II fluida je: 50% monoetilen glikol, dietilen glikol, monopropilen glikol ili mešavine sva tri elementa, 49% vode i 1% očvršćivača ili vezivnih hemikalija koje pospešuju vezivnu moć tečnosti.

Tečnosti Tipa IV imaju isti sastav kao Tip II, uz veći procenat očvršivača za 1%. Fluidi Tipa IV su zelene boje.

Oprema koja se koristi za Deicing i Anti-icing podrazumeva četke, metle, baštovanske pumpe i konopce za mehaničko uklanjanje nakupljene akumulacije, kao i vozila za hemijski tretman aviona ili tretman toplim vazduhom. Vozilo za vršenje hemijskog tretmana je kamion sa dva ili tri kontejnera za tečnosti (hemijske agense) i vodu sa grejanjem, koji je opremljen instrumentima i aparaturom za pripremu mešavine, crevom ili automatskom prskalicom i pokretnom kućicom za operatera. Jedan od načina vršenja procedure je da jedno isto vozilo bude opremljeno i za vršenje Deicing-a i Anti-icing-a, koristeći za prvu proceduru tečnosti iz jednog kontejnera a za drugu proceduru tečnost iz drugog kontejnera, dok drugi način podrazumeva dva različita vozila posebno.

Procedura vršenja operacija obuhvata prema odredbama FAA (*Federal Aviation Administration*) korišćenje dva ili četiri vozila za Deicing i Anti-icing, u zavisnosti od veličine aviona. Procedura počinje na početku trupa, potom se nastavlja duž trupa prema krilima, tretiraju se krila, vertikalni stabilizator i na kraju horizontalni stabilizator.

Procedura prskanja krila obuhvata prvo napadnu ivicu pa prema izlaznoj ivici krila, i od kraja krila prema korenu krila uz trup. Na isti način se radi i tretman horizontalnog repnog stabilizatora. Repni vertikalni stabilizator se tretira spreda ka zadnjoj strani i od vrha repa ka korenu repnog stabilizatora. Pri prskanju aviona ne vrši se direktno tretiranje prozora kokpita, otvora instrumenata i točkova, kao ni usisnika motora. Ukoliko su meteo uslovi lošiji sa nižim temperaturama obavlja se procedura u dva koraka, prvi korak Deicing a drugi Anti-icing, dok je u slučajevima povoljnijih vremenskih uslova to moguće obaviti u jednom koraku ("Aircraft De-Icing: Why They Spray Aircraft," 2017).

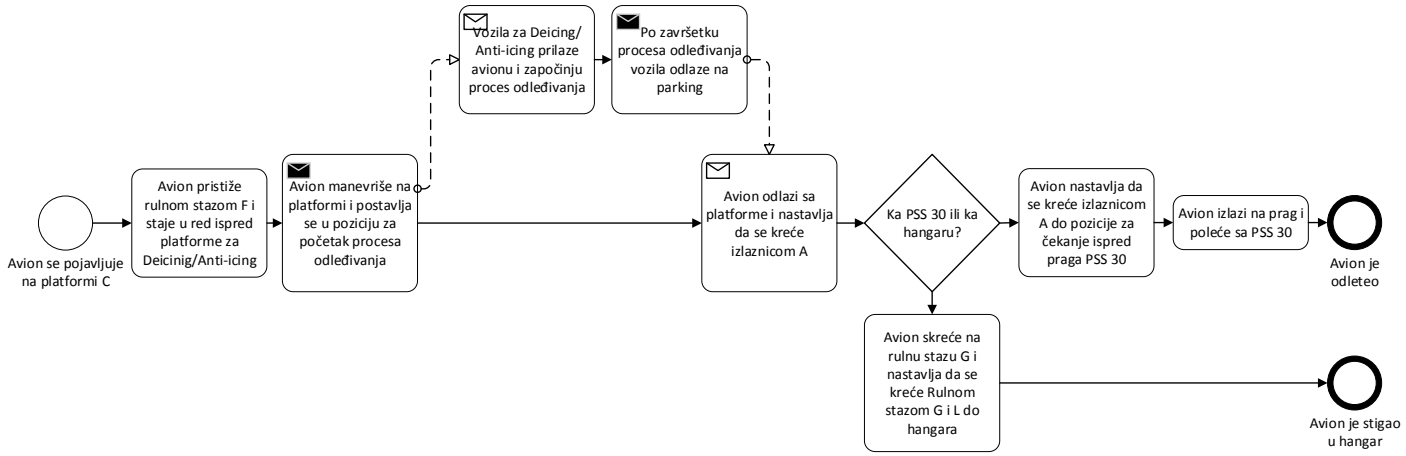
Veoma je važna organizacija na aerodromima svih službi u zimskoj eksploataciji kako bi se saobraćaj obavljao što je moguće redovnije zbog čega su na velikom broju aerodroma izgrađene posebne platforme.

Na Aerodromu „Nikola Tesla" u Beogradu, platforma za ovu namenu je izgrađena i puštena u rad u Novembru 2016. godine. Pozicionirana je u nastavku platforme „C" , ispred ukrštanja sa izlaznicom A.

3. SIMULACIONI MODEL I REZULTATI

Posmatra se proces poletanja aviona sa aerodroma „Nikola Tesla" u periodu od 14:00 do 16:00. Pri izradi simulacionog modela za ulazne podatke korišćen je reda letenja Aerodroma „Nikola Tesla" u Beogradu. Avioni pre poletanja dolaze do platforme za prskanje aviona protiv zamrzavanja, gde se sprovodi De-ice i Anti-ice procedura i staju u red ispred platforme.

Model je moguće opisati na sledeći način. Avion se pojavljuje na platformi „C" i rulnom stazom F se približava poziciji za čekanje ispred platforme za De-icing i Anti-icing. Kada dođe na red avion se postavlja u poziciju za početak procesa odleđivanja. Daje se signal vozilima za Deicing i Anti-icing da priđu avionu i započnu proceduru. Kada završe proceduru vozila se vraćaju na početne pozicije, a avion izlazi sa platforme i nastavlja da se kreće izlaznicom A. Jedan broj aviona (njih 5%) dobija naredbu da se vrati u hangar, dok ostali avioni nastavljaju da se kreću izlaznicom A do pozicije za čekanje izpred PSS (*poletno-sletna staza*) 30. Kada dobiju odobrenje avioni izlaze na prag PSS i poleću. Na slici 1 dat je BPMN (*Business Process Modeling Notation*) model simuliranog procesa.



Slika 1: BPMN model procesa koji se obavljaju pred poletanje aviona u zimskim uslovima na Aerodromu „Nikola Tesla" u Beogradu

U tabelama 1, 2 i 3 predstavljene su empirijske raspodela vremena između dolazaka aviona, vremena prskanja aviona i vremena poletanja, respektivno.

Tabela 1: Raspodela vremena dolazaka aviona do reda ispred platforme za prskanje

Vreme (s)	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550
Verovatnoća (%)	8	4	5	11	7	9	10	9	14	12	11

Tabela 2: Raspodela trajanja procesa prskanja aviona

Vreme (s)	**Verov. (%)**	**Vreme (s)**	**Verov. (%)**	**Vreme (s)**	**Verov. (%)**	**Vreme (s)**	**Verov. (%)**
600	2	680	9	760	3	840	4
610	1	690	2	770	5	850	1
620	1	700	6	780	1	860	7
630	3	710	1	790	2	870	4
640	5	720	2	800	3	880	3
650	2	730	4	810	2	890	2
660	3	740	2	820	5	900	4
670	4	750	5	830	2		

Tabela 3: Raspodela trajanja postupka poletanja aviona

Vreme (s)	150	160	170	180	190	200	210
Verovatnoća (%)	12	18	23	14	20	6	7

Simulacioni model je realizovan u simulacionom jeziku GPSS/H i pri izradi simulacionog modela vođeno je računa o statističkoj nezavisnosti. Nad simulacionim modelom je izvršeno pet realizacija. Dobijeni usrednjeni rezultati relevantni za rad platforme i poletno-sletne staze Aerodroma „Nikola Tesla“ u Beogradu su sledeći:

- Maksimalan broj aviona koji su čekali u redu ispred platforme je 5,
- Samo jedan avion je pristupio operacijama na platformi bez čekanja.
- Vreme koje avioni u proseku provedu čekajući da se platforma oslobodi je 1028 sekundi,
- Maksimalan broj aviona koji čekaju u redu ispred poletno-sletne staze je 1,
- Svi avioni koji su završili procese na platformi za de-ice su upućeni na poletanje bez čekanja,
- Prosečna iskorišćenost platforme je 93,18 %,
- Prosečna iskorišćenost poletno-sletne staze je 15,58 %.

4. ANIMACIONI MODEL

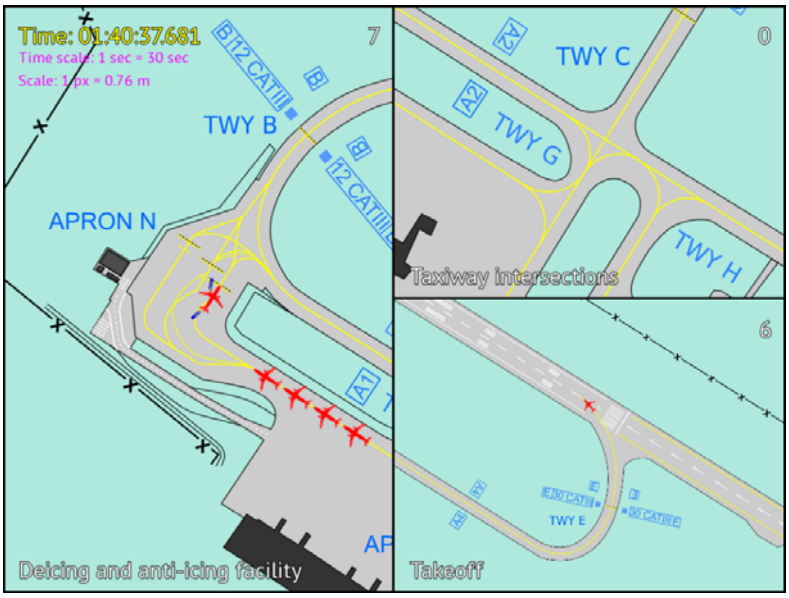
Uzevši u obzir činjenicu da je simulacioni model realizovan u jeziku GPSS/H, bilo je neophodno animacioni program prilagoditi mogućnostima simulacionog jezika. Pošto simulaciona strategija (*interakcija procesa*) GPSS/H jezika koristi mehanizam pomaka vremena na naredni događaj, a animacija koristi mehanizam pomaka vremena za konstantnti priraštaj objedinjavanje izvršenja animacionog sa simulacionim programom je složeno za realizaciju. Zbog toga je izabran “batch” koncept izvršenja animacije, gde se prvo izvršava simulacioni program koji upisuje komande u datoteku (oznaka komande, trenutak komande i trajanje komande), a nakon toga animacioni program čita komande i sprovodi ih u zavisnosti od animacionog vremena. Na slici 2 je prikazan ekran animacionog programa u toku izvršenja.

Animacioni program je realizovan u programskom jeziku C++ uz intenzivno korišćenje standardne biblioteke šablona (STL, *Standard Template Library*). Za grafički prikaz korišćena je C++ biblioteka SFML (*Simple and Fast Multimedia Library*) (Haller 2013). Ona obezbeđuje jednostavan interfejs ka različitim komponentama računara čiji je cilj da olakša razvoj igara i multimedijalnih aplikacija. Sastoji se od pet modula: *system*, *window*, *graphics*, *audio* i *network*. Grafički modul koristi OpenGL programski API (*Application Programming Interface*) za iscrtavanje dvodimenzionalne vektorske grafike.

Oznake komandi korišćene za komunikaciju između simulacionog i animacionog programa su date u tabeli 4. Svaka komanda je triplet i pored oznake komande, nosi i vreme početka izvršenja te komande, kao i vreme trajanja komande.

Pozadina, avion i Deicing/Anti-icing vozilo su realizovani kao sprajtovi. Sprajt (*sprite*) je element kompjuterske grafike koji je moguće pomerati po ekranu i sa kojim se manipuliše kao sa jednim, celovitim

entitetom. U ovom animacionom programu sprajtovi su unapred učitane rasterske slike (bitmape), pri čemu bitmapa aviona predstavlja siluetu aviona Airbus A320. Bitmapa pozadine, odnosno aerodroma, je realistično nacrtana tako da 1 piksel na ekranu iznosi ≈0,76 m u stvarnosti. Ekran je podeljen u tri celine, tzv. pogleda (views), putem kojih se naglašavaju različiti delovi simulacionog modela: platforma za deicing/anti-icing, ukrštanje izlaznice A i rulne staze G (kojom se avioni usmeravaju ka hangaru) i PSS 30 (slika 2).



Slika 2: Prikaz ekrana animacionog programa

Tabela 4: Oznaka i objašnjenje "batch" komande

Oznaka komande	Objašnjenje komande
cpl	Napravi avion
mtp	Pomeri avion do platforme
map	Manevriši na platformi
mtg	Izlazak sa platforme i kretanje do skretanja za hangar
mte	Kretanje od skretanja za hangar do izlaza za PSS
mtr	Kretanje do praga PSS 30
fly	Poletanje
mth	Kretanje aviona do hangara
dpr	Uklanjanje aviona iz modela - Pista
dph	Uklanjanje aviona iz modela – Hangar
end	Kraj animacije
nud	Broj aviona koji je završio Deicing/Anti-icing
nuh	Broj aviona koji je otišao u hangar
nuf	Broj aviona koji je odleteo
tt1	Kretanje prvog Deicing/Anti-icing vozila ka avionu
tt2	Kretanje drugog Deicing/Anti-icing vozila ka avionu
tf1	Kretanje prvog Deicing/Anti-icing vozila od aviona
tf2	Kretanje drugog Deicing/Anti-icing vozila od aviona

Kretanje sprajtova u programu se ostvaruje putem objekata klase `Path`. U realizovanom animacionom programu ima 11 takvih objekata. Klasa `Path` obezbeđuje kretanje sprajtova po složenim putanjama, koje se mogu sastojati iz više segmenata. Segmenti mogu biti: linearni, lukovi (kružnih linija ili rotiranih elipsa) i Bezijerove krive (kvadratne ili kubne). Takođe, ova klasa može da obezbedi i akumulaciju sprajtova na kraju

putanje čime se animiraju redovi čekanja. Objekti klase `Path` ažuriraju pozicije u zavisnosti od vremena i iscrtavaju dodeljene sprajtove.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih simulacijom procesa koji se obavljaju pred poletanje aviona u zimskim uslovima na Aerodromu „Nikola Tesla“ u Beogradu može se zaključiti da je u vršnom periodu potrebno omogućiti proširenje platforme za operacije odmrzavanja. U te procese spadaju: čekanje na operaciju De-ice i Anti-ice, realizaciju ove operacije na platformi, izlazak aviona sa platforme za ovu proceduru, čekanje aviona na poletanje tj. izlazak na poletno – sletnu stazu i sam postupak poletanja, može se zaključiti da je u vršnom periodu potrebno omogućiti proširenje platforme za operacije odmrzavanja. Rezultati su pokazali iskorišćenost platforme za ovu namenu od preko 93%, uz prosečno vreme čekanja na oslobađanje platforme od 1028 sekundi i skoro tokom čitavog perioda simulacije u redu ispred platforme je bilo 5 aviona. Iz ovih razloga, dolazi do kašnjenja aviona u poletanju i remećenja reda letenja, što za posledicu ima velike materijalne troškove koji se javljaju zbog gubitaka veza tranzitnih putnika na destinacijama i povećanje operativnih troškova aviokompanija. U radu su rezultati dobijeni simulacijom vizuelno prezentovani i verifikovani animacionim programom.

Stohastička simulacija je pokazala da poletno-sletna staza ima dovoljan kapacitet za ovaj nivo saobraćaja i da ovaj objekat ne predstavlja ograničavajući faktor za povećanje obima saobraćaja pod sadašnjim okolnostima.

Primena simulacionog modela za analizu iskorišćenosti platforme za Deicing i Anti-icing, može znatno uštedeti materijalna sredstva i resurse koji su potrebni za ovu namenu. Pri planiranju proširenja ili rekonstrukcije aerodroma koje obuhvataju resurse i prostorni raspored površina, simulacijom se može doći do boljih rešenja, uz manje troškove i utrošak vremena u odnosu na druge metode.

LITERATURA

[1] Mirković, B., & Tošić, V. (2011). Vazduhoplovna pristaništa I. Beograd: Saobraćajni fakultet.

[2] Radenković, B., Stanojević, M., & Marković, A. (2007). Računarska simulacija. Beograd: SF-FON.

[3] Kazda, A., & Caves, R. (2007). Airport Design and Operation. (2nd edition). Emerald Group Publishing Limited.

[4] Aircraft De-Icing: Why They Spray Aircraft. (2017, August 10). Retreived from http://aerosavvy.com/deice/

[5] Haller, J., Vogelius Hansson, H., & Moreira, A. (2013). SFML Game Development. Packt Publishing.

2017

TEORIJA IGARA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

A GAME THEORY APPLICATION ON PACKAGE ASSET AUCTIONS

PETER N. POSCH[1], VLADISLAV RADAK[2]

[1] Technical University of Dortmund, peter.posch@udo.edu
[2] Technical University of Dortmund, Dortmund, vladislav.radak@udo.edu

Abstract: *We study a dynamic game theory model of illiquid asset auctions. Both budgets of players as well as their utilities for assets are common knowledge. We build the theory around two and three asset package auctions. It is shown that outcomes strongly rely more on bidders' utilities for certain assets than their budgets, proving that bidders with higher utilities, but lower budgets may have a dominant strategy. Depending on the relationship between certain utilities and budgets every type of the game shows that every player can create an optimal strategy, which does not require bidding until her utility for every asset, lowering exposure, and preserving her from obtaining unwanted packages. Empirical evidence proves existence and importance of strategically most important asset, but only in the case where utilities on consecutive packages are higher than the sum of utilities of separate assets.*

Keywords: *Vickery auctions, game theory, combinatorial auctions, competitiveness* ***JEL codes:*** *C78, C91, D44*

1. INTRODUCTION

The global financial crises triggered by subprime mortgage loans posed many questions to researchers and regulators as well as management of big banks. One of the returning questions is how to manage and evaluate classes of assets that are illiquid or nonmarketable in order to retrieve liquidity to financial institutions or to remove unreflective or toxic assets from their balance sheets. Investors who pose effort to buy or sell assets that are not traded on centralized exchanges can face difficulties in finding a counterparty or an opportunity to make a trade. On the other side, investor's inability to continuously trade represents an additional source of risk that cannot be hedged.

Different asset auction models are not new to researchers and regulators. On the contrary, treasury auctions trade a significant number of illiquid assets: The European Central Bank conducts weekly repo auctions, while U.S. Federal Reserve does so every day, as the strongly regulated measure which should provide liquidity to the financial system. One of the ongoing debates interrogates transparency of information that central banks provide to the private banks, especially in a crisis situation (Vives 2010). In this paper we will introduce sustainable and fair action model that can be performed on relation private seller – multiple private bidders that can guarantee competitive prices that are close to expected bidding outcome, as well as bidders' wanted assets, lowering their exposure in the process of bidding.

Yet, the introduction of uniform price auction model, especially to the market of illiquid securities, might present a big challenge. In this paper, we start from the assumption that most of the bidders will be interested not in one part of the offered auction, but more in packages that will fulfill their bidding goals. The second assumption is that some parts of offered asset are more attractive to some bidders than the others, but information about the attractiveness of one part of the asset to a bidder is not reviled to other bidders.

From the very start to the major problem that potential bidders might face is exposure problem, which occurs when bidders want to acquire complementary parts of offered asset and budget constraints which go hand in hand with the previous one. To clarify this statement we can give an example: one bidder who aims to purchase the package of assets which consists of parts A, B, and C, in which case owning solely only two parts of the desired package is unaffordable or unprofitable can spend majority of budget for parts A and B, and then face constraint in which rest of the budget is not sufficient to win part C.

Package bidding, especially in cases where offered assets can be divided into large number of parts presented big challenge in the past, mostly due to large number of combinations involved and the fact that in one point

at the time there can be no overlapping packages or every part of the offered asset can be included in only one package. Nowadays, growing capabilities of technology, communicational systems and algorithms offer more flexibility possibilities for auctioneers and bidders.

There are numerous examples of successful and less successful ascending auctions with package bidding outside of the market of illiquid securities. The German 4G spectrum auction was a prime example of the large simultaneous ascending multi-band auction in which bidders presented both budget constraints and attraction towards complementing blocks of the spectrum, which ended after 224 rounds of competitive bidding (Cramton, Ockenfels 2014). Yet, authors don't fully clarify the fact that outcome of the auction can be better: "When the auction ended, the industry as a whole was more than €4 billion poorer and all bidders worse off compared to what probably might have been possible early in the auction."

Even bigger illustration of practical application of package bidding auctions is the example of U.S. Advanced Wireless Service auction dated at late summer of 2006, where the FCC auctioned 90 MHz of nationwide spectrum divided into 1122 parts. Auction attracted 168 bidders, where winning bids grossed 13.9 billion dollars (Bulow, Levin, Milgrom 2009).

In the world of illiquid assets reverse auctions play big part. The U.S. Treasury's autumn 2008 Troubled Asset Recovery Program (TARP) plan to spend up to $700 billion buying "toxic assets" with a face value well in excess of $1 trillion. There were of the order of 25,000 similar securities with similar price offered by 300 sellers. In this case weight of the sellers on the market played big role since largest 10 held two-thirds of the total volume (Vives 2010).

2. THE AUCTION MODEL

Let there be a finite number I of different assets and finite number J of bidders in one auction. In this model we assume that bidders will form packages without any restrictions, meaning that bidders are free to make exclusive bids on as many assets which are formed into packages in every bidding round as they wish, which is most lose and general approach in this type of auction design and which can cover bigger spectrum of assets, while at the same time does not increase bidders exposure. We also assume that bidder has no mutually exclusive bids, meaning that there are no automatic options for the bidder who wants only asset A or only asset B, to reject asset B post to winning asset A if the bid was made.

The auction is a second price auction in the way that the highest bid wins but pays only the second highest price increased by the minimum increase amount. Hence, bidders can submit their truthful final bid price without being punished. This accelerates the auction time and protects the bidders' identities. All bids are firm offers. A bidder cannot change or withdraw offer one it was made as well as the structure of the package in question.

Let us denote the bid on asset i from bidder j in moment $t \in (0, T)$ as $b_j^t(t)$ and the winning bid of with same parameters as $B_j^t(t)$. All currently and prior successful bids up to the time a bidder had her last successful bid are shown to her without the identity of any third bidder. Nevertheless, this is only the case if an asset were to be fully sold. If it is only sold in parts, the bidder can only see his own bid. If a bidder is currently not successful, she does not see the current winning bid. The bidders receive this information as a protocol.

After each round, the seller identifies a set of conditionally winning bids. In our case that is the set of bids that maximizes the total profits of the seller. Every asset can have only one winning price and later can be sold only once. The auction proceeds in a sequence of bidding rounds until there is no round in which are new winning bids or no new entrants. The auction then ends and previous winning bids become part of final winnings.

This auction model doesn't take *proxy agents* bidding in consideration which means that every bidder needs to take care of their constraints, dependencies and package desires[1]. In order to avoid collusion among bidders, the auction takes place at a supervised place without communication devices. The supervisor can also check whether any problems with the software occurs which may justify extending the auction time for this or all current bidders.

3. ASYMMETRIC SIGNALING GAME WITH TWO BIDDERS

Let us assume there are two bidders 1 and 2 who are bidding on two types of assets A and B where seller of the goods is exogenous entity. Let us denote with K_1 and K_2 respectively bidders budgets in this game and U_{1A} utility of the asset A for the bidder 1 and similarly U_{1B}, U_{2A}, U_{2B} utility for the asset B as well as utilities for both A and B for the second bidder.

The following is the list of possible assumptions:

Q1: Bidder 1 values asset A more than bidder 2: $U_{1A} > U_{2A}$
Q2: Bidder 1 values asset B more than bidder 2: $U_{1B} > U_{2B}$
Q3: Bidder 2 values asset A more than bidder 1: $U_{1A} < U_{2A}$
Q4: Bidder 2 values asset B more than bidder 1: $U_{1B} < U_{2B}$
Q5: Bidder 1 has bigger budget than the bidder 2: $K_1 > K_2$
Q6: Bidder 2 has bigger budget than the bidder 2: $K_1 < K_2$

Creating following list of possible scenarios:

S1: Q1, Q2, Q5	S5: Q2, Q3, Q5
S2: Q1, Q2, Q6	S6: Q2, Q3, Q6
S3: Q1, Q4, Q5	S7: Q3, Q4, Q5
S4: Q1, Q4, Q6	S8: Q3, Q4, Q6

Budgets of the bidders are the common knowledge.

It is trivial that there are certain games that quickly come to an end:

(S1) If $U_{1A} > U_{2A}$ and $U_{1B} > U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} < K_1$, then bidder 1 purchases both assets after the first round.
(S8) If $U_{2A} > U_{1A}$ and $U_{2B} > U_{1B}$ and $U_{2A} + U_{2B} < K_2$, then bidder 2 purchases both assets after the first round.
(S3) If $U_{1A} > U_{2A}$ and $U_{2B} > U_{1B}$ while $U_{1A} < K_1$ and $U_{2B} < K_2$ holds, then bidder 1 purchases asset A and bidder 2 purchases asset B and vice versa in case S6.

Let us assume more complex state which doesn't reach equilibrium quickly. Let utility of the first asset A be higher for the bidder 1 $U_{1A} > U_{2A}$ and as well as utility for the asset B: $U_{1A} > U_{2A}$. Also

$$U_{1A} + U_{1B} > K_1 \text{ and } U_{2A} + U_{2B} < K_1 \text{ holds following S2.}$$

We will simplify this case by assuming that budgets of both bidders are common knowledge and later on relax that assumption.

We could observe behavior of bidder 2. She would, obviously follow the price of asset A until it reaches U_{2A}. If she didn't win asset A on the price $U_{2A} + MI_A$ in that moment she realizes that $U_{1A} > U_{2A}$.

[1] Ausubel and Milgrom, 2002 present auction design where bidding is required to be trough proxy agents. Bidders can instruct proxy agents to apply sincere strategy in which instructions are truthful or semi-sincere shading the proxy instructions which in our case leads to model complications.

Since bidding is conducted through steps we can denote:

$$U_{1A} = n_{1A}MI_A \text{ and } U_{2A} = n_{2A}MI_A$$

which means that considering minimum increase amount for the asset A bidder 1 can make maximum of n_{1A} while bidder 2 can make n_{2A} where

$$n_{1A} = n_{2A} + l_A$$

Proposition 4.1. In scenario where $U_{1A} > U_{2A}$, $U_{1B} > U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} > K_1$, $U_{2A} + U_{2B} < K_1$ bidder 1 will selected $U_{1A} - MI_A$ as highest bidding price for asset A while bidder 2 will be in a subordinate position and can chose U_{2A} or lower as the highest bidding price for asset A.

Proposition 4.2. In scenario where $U_{1A} > U_{2A}$, $U_{1B} > U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} > K_1$, $U_{2A} + U_{2B} < K_1$ sellers revenue from (3.7) is

$$\pi_{AB}^t = U_{2A} + U_{2B} + MI_A \text{ when } \alpha_{1A} > \alpha_{1B} \text{ or}$$
$$\pi_{AB}^t = U_{2B} + MI_B \text{ when } \alpha_{1A} > \alpha_{1B}$$

It is clear that in first case seller will sell both assets, while in the second one he will sell only asset B. We can settle that case S7 is equivalent to case S2.

Proposition 4.3. In scenario where $U_{1A} < U_{2A}$, $U_{1B} > U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} > K_1$, $U_{2A} + U_{2B} < K_1$ and $K_1 > K_2$ bidder 1 can selected U_{1A} or higher as highest bidding price for asset A while bidder 2 must chose U_{2A} as highest bidding price for asset A. Bidder 1 will win asset B and bidder 2 will win asset A.

In case where bidder 1 opts for higher then U_{1A} she pushes bidder 2 to pay more for asset A (which can be important in case where with more than 2 assets) and also boosts sellers revenue, but it can only bid until K_1- U_{2B}- MI_B.

Proposition 4.4. . In scenario where $U_{1A} < U_{2A}$, $U_{1B} > U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} > K_1$, $U_{2A} + U_{2B} < K_1$ and $K_1 > K_2$ sellers revenue from (3.7) is

$$\pi_{AB}^t = U_{1A} + U_{2B} + MI_A + MI_B$$

As a final not trivial case we analyze S4 where utility of the first asset A be higher for the bidder 1 $U_{1A} > U_{2B}$ but utility of the second asset B be higher for the bidder 2: $U_{1B} < U_{2B}$. Also

$\boldsymbol{U_{1A} + U_{1B} > K_1}$ and $\boldsymbol{U_{2A} + U_{2B} < K_1}$ holds while $\boldsymbol{K_1 < K_2}$

Proposition 4.5. In scenario where $U_{1A} > U_{2A}$, $U_{1B} < U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} > K_1$, $U_{2A} + U_{2B} < K_1$ and $K_1 < K_2$ bidder 1 can selected $U_{2A} + MI_A$ or higher as highest bidding price for asset A while bidder 2 must chose U_{2A} as highest bidding price for asset A. Bidder 1 will win asset A and bidder 2 will win asset B.

Proposition 4.6. In scenario where $U_{1A} > U_{2A}$, $U_{1B} < U_{2B}$ and $U_{1A} + U_{1B} > K_1$, $U_{2A} + U_{2B} < K_1$ and $K_1 < K_2$ sellers revenue from (3.7) is

$$\pi_{AB}^t = U_{2A} + MI_A + K_1 - (U_{2A} + MI_A) + MI_B =$$
$$= K_1 + MI_B$$

4. EMPIRICAL EVIDENCE

4.1 FCC RSA Auction with 3 assets and 7 bidders

FCC auctions can provide a good illustration how even smaller auctions with lower number of bidders and a lower number of assets offered can turn into longer game dynamics with subgames and outcomes that can be explained by propositions 4.1 to 4.6. In May of 2002 FCC offered for sale 25 MHz band in rural areas divided into 3 licenses based on location. Since rural location varied in population as well as in operational costs for different bidders, those 3 licenses had significantly diverse utilities for different bidders. The auction attracted several bidders of which 7 qualified for auction: CCPR Services, Inc, MilkyWay Wireless, LLC, Paris Tower, Inc, Robert Price, Southwestern Bell Wireless, Trent Cellular, LLC and WWC Holding Co., Inc.

Trent Cellular, LLC and MilkyWay Wireless were passive participants in this particular auction, since they didn't post any biddings during all rounds, which we can, for simplifying purposes observe as 3 asset game with five bidders denoting them as:

Table 1

Active bidders	
CCPR Services, Inc.	A
WWC Holding Co., Inc.	B
Southwestern Bell Wireless	C
Paris Tower, Inc	D
Robert Price	E

Assets	
Arkansas 9 – Polk A	*m*
North Dakota 3 – Barnes A	*n*
Puerto Rico 5 – Ceiba A	*l*

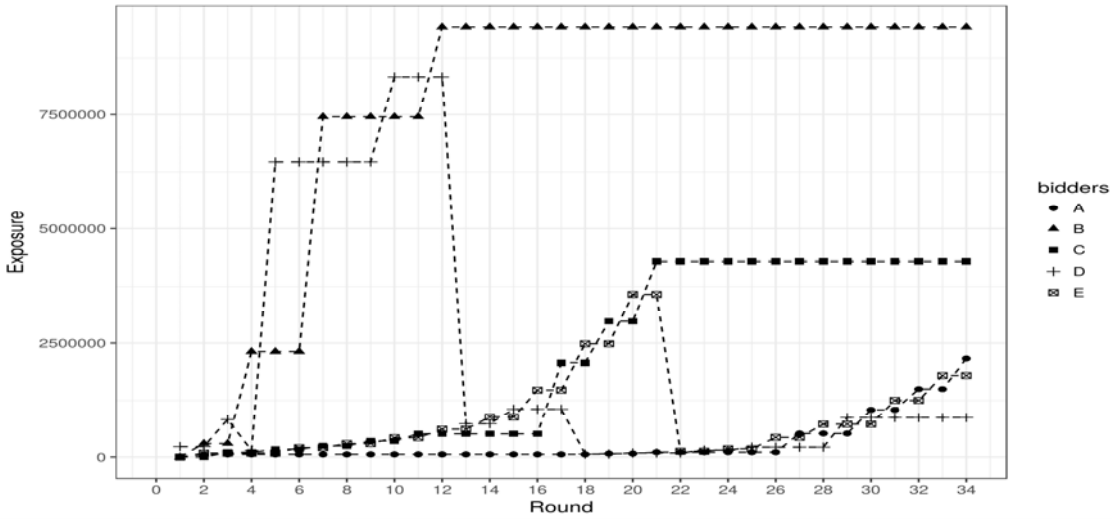


Figure 1: Bidder's exposure during FCC RSA

Auction lasted for 35 rounds during 5 days in which bidders had enough time to change and adopt new bidding strategies resulting in revenue of $15,871,000. Three bidders won three licenses.

Figure 1 illustrates bidder's exposure during every round of auction, summing all winning bids in a specific round. As described in Bulow, et al., 2009 early bidding tends to focus on the largest licenses with the biggest utility. The RSA 2002 auction was no exception: initial bidding centered on the Channel A of North Dakota 3 - Barnes license. However, an interesting subgame occurred: Bidder D, who, at the end of the auction will not obtain any asset, already in round 4 opted for strong biding offer on the asset *n*, increasing price beyond $6M. At round 11 bidder D decides to drop out from subgame for asset *n*, reviling his budget. At round 12 bidder B offers the price for asset *n* which will stay final until the end of auction. The explanation for this might be "chicken game" strategy in which bidder D has an agreement with some other bidders to attack position of the player with biggest budget, maxing out her budget on the asset with highest utility, keeping her away from obtaining all assets. In Figure 1 we can comprehend that, if bidder D didn't

enter the for asset *n* strong in round 5, bidder B would obtain asset *n* for a much lower price of $2.312.000 and had enough budget to participate in subgames for assets *m* and *l*. Outcome is given in table 2.

Table 2

Active bidders	Assets won	Population	Gross price	Price per capita	Round
CCPR Services, Inc.	Puerto Rico 5 – Ceiba A	39,765	$2,160,000	$54.32	34
WWC Holding Co., Inc.	North Dakota 3 – Barnes A	94,616	$9,419,000	$99.55	12
Southwestern Bell Wireless	Arkansas 9 – Polk A	62,480	$4,292,000	$68.69	21
Paris Tower, Inc	-		-		
Robert Price	-		-		

5. CONCLUSION

We have investigated Vickery based auctions of illiquid assets with focus on package bidding trough game theory optimal strategies. Theoretical consideration suggest that every case that can be presented as two asset or three asset game, as well as longer games that can be presented through two and three asset subgames has strong equilibrium if bidders budgets and utilities for every asset are common knowledge. Guerrin and Tadjouddine (2006) presented mechanisms of achieving common knowledge of asset utility, while we proved on empirical examples that some key bidders may reveal their budgets early in the game.

Furthermore, we have shown that outcomes strongly relay more on bidders' utilities for certain assets than their budgets, proving that bidders with higher utilities, but lower budgets may have dominant strategy. Depending on relationship between certain utilities and budgets every type of the game shows that every player can create optimal strategy, which does not require bidding until her utility for every asset, lowering exposure, and preserving her from obtaining unwanted packages. Additionally, we have shown that the certain differences between asset utilities and lower closest step of minimum increase amounts play a big role in creating optimal strategy and game outcome for every bidder. Alike, for every type of the game, seller can determine her expected auction revenue, as well as possible unsold assets.

REFERENCES

[1] Ausubel, Lawrence M., and Paul Milgrom. (2006) "The lovely but lonely Vickrey auction." Combinatorial auctions 17: 22-26.

[2] Bulow, Jeremy, Jonathan Levin, and Paul Milgrom. (2009) Winning play in spectrum auctions. No. w14765. National Bureau of Economic Research.

[3] Cramton, Peter C. (1984) "Bargaining with incomplete information: An infinite-horizon model with two-sided uncertainty." The Review of Economic Studies 51.4: 579-593.

[4] Cramton, Peter, and Axel Ockenfels. (2014) "The German 4G Spectrum Auction: Design and Behavior."

[5] Guerin Frank, Tadjouddine Emmanuel M. (2006) "Realising Common Knowledge Assumptions in Agent Auctions" Intelligent Agent Technology.

[6] Pagnozzi, Marco. (2010) "Are speculators unwelcome in multi-object auctions?."*American Economic Journal: Microeconomics* 2.2: 97-131.

[7] Vickrey, William. (1961) "Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders." The Journal of finance 16.1: 8-37.

[8] Vives, Xavier. (2010) "Asset auctions, information, and liquidity", Journal of the European Economic Association

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

HOTELINGOV MODEL I IZBOR LOKCIJE U USLUŽNOM SEKTORU

HOTTELING MODEL AND LOCATION CHOICE IN SERVICE INDUSTRY

MILENA VUKIĆ[1],

[1] Visoka hotelijerska škola, milena.vukic12@gmail.com

Rezime: *Različiti profili kompanija, lanci robnih kuća, naftna industrija, hoteli i franšizeri brze hrane, posvećuju ogromnu pažnju odabiru lokacije. Da bi procenili lokacije one mogu da koriste nekoliko metoda kao što je analiza frekventnosti saobraćaja, istraživanje navika potrošača prilikom kupovine ili analizu konkurentskih lokacija. Imajući u vidu da lokacija ima uticaj na prihod kompanije, moguće je korišćenjem teorije igara, odnosno predviđanjem reakcija konkurenata u različitim situacijama, doneti bolju odluku o pozicioniranju. Analiza ove problematike vrši se primenom Hotelingovog modela koji ukazuje na to da lociranjem pored svojih konkurenata dovodi do osvajanja najvećeg profita.*

Ključne reči: *Хотелингов модел, услужни сектор, конкуренција, локација, прицип минималне диференцијације.*

Abstract: *Different profiles of companies, departman store chains, oil industry, hotels and fast food franchisees devote enormous attention to choosing a location. In order to assess the location one can use several methods such as analysis of the frequency of traffic, studying habits of consumers while purchasing or competition analysis. Bearing in mind that the location has an impact on the income of the company, it is possible by the use of game theory, i.e. predicting reactions of competitors in different situations, to make a better decision about positioning. Analysis of this kind of problem is performed by applying Hotelling model which suggests that locating next to the competitors leads to the conquest of the highest profits.*

Keywords: *Hotelling model, service sector, competition, location, principle of minimal differentiation*

1. UVOD

Ubediti potrošače da kupe neki novi proizvod ili uslugu u jednom zasićenom, konkurentnom okruženju veoma je zahtevan zadatak, zbog čega mnoge kompanije prepoznaju neophodnost formulisanja mnogo kompletnijeg pristupa poslovanju koji nadmašuje tradicionalni marketing. Ta nova faza u evoluciji marketinga poznatija kao holistički marketing, polazi od postulata da je za marketing sve bitno a kao osnovu svoje marketinške aktivnosti smatra uspešno kreiranje vrednosti putem uspešne isporuke vrednosti. U ovakvom jednom kontekstu poslovanja, distribucija kao jedan od instrumenata marketing miksa, ne podrazumeva isključivo usresređenost na dobavljače, distributere i kupce, već razmatra celokupan lanac snabdevanja koji povezuje sirovine, komponente i proizvedenu robu i pokazuje njihovo kretanje ka krajnjim potrošačima.

Jedan od najvažnijih aspekata distribucije bilo da su u pitanju proizvodi ili usluge jeste lokacija. Lokacija gde će se usluga ili proizvod isporučiti može predstavljati izuzetno bitan faktor za odlučivanje potrošača kao i za njihovu satisfakciju, i može predstavljati izuzetno bitan atribut prilikom odabira alternativa. Problematika pozicioniranja kao i odabir lokacije zahteva mnogo strateškog razmišljanja, jer nijedna kompanija ili pojedinac ne može da se ponaša nezavisno od drugih učesnika na tržištu. Jedan od najčešće korišćenih modela u teoriji igara koji analizira kako se pozicionirati u odnosu na konkurenciju je Hotelingov model.

Cilj ovog rada je da predstavi Hotelingov model i ukaže na njegov značaj i široku primenu u oblasti modeliranja konkurencije, ali i da objasni pojavu koja nastaje kao posledica Hotelingovog zakona a koja podrazumeva da se konkurentski proizvodi ili usluge lociraju (u prostornom smislu ili u svesti potrošača) što bliže mogu jedan drugom. U radu će takođe biti prikazan model izbora lokacije kroz primer igre dva restorana brze hrane, kao i odgovarajuće rešenje tj. Nešov ekvilibrijum.

2. PROBLEM LOKACIJE

Najčešća klasifikacija lokacija opisuje pet mogućih modela koje maloprodavci koriste u okviru mapiranja trgovinske oblasti (Goljanin 2010). Teorija centralnog mesta smatra da će u trgovinskoj oblasti sa određenim nivoom konkurencije potrošači posetiti prodavnicu sa najboljim odnosom troškova prema koristi. Troškovi se sastoje od rastojanja do prodavnice, utrošenog vremena i neophodne količine novca za kupovinu. Koristi se mogu sumirati koliko dobro će prodavnica zadovoljiti potrebe kupaca.

Teorija vrednosti zemljišta datira iz 1920-ih godina i kaže da će onaj trgovac koji je spreman da plati najvišu cenu najma prostora biti onaj koji će tu postaviti svoju prodavnicu. Moderno konkurentsko okruženje je znatno komplikovanije nego što ova teorija razmatra i teško je doneti odluku o lociranju svoje prodavnice samo na osnovu cene zakupa prostora.

Teorija minimalne diferencijacije, bazira se na ideji da će određeni broj konkurentskih prodavnica prosperirati ako su grupisane. Osnovna pretpostavka je da će prodavnica imati pristup većem broju ciljnih kupaca, ukoliko locirana pored konkurenta (Hotelling 1928).

Teorija prostorne interakcije podrazumeva da se idealna pozicija za lociranje jedne prodavnica između dva naselja ili grada nalazi na mestu koje je direktno proporcionalno broju stanovnika, a obrnuto proporcionalno kvadratu rastojanja.

Koncetrične zone su oblasti locirane oko prodavnice kao centra. Zone zavise od verovatnoće da će njeni stanovnici posetiti prodavnicu. Obično se razmatraju tri zone: primarna sa najvišim stepenom posećenosti, sekundarne sa osrednjim nivoom posećenosti i tercijalne iz koje dolazi tek 15% kupaca. Ovi procenti variraju od nivoa konkurencije i tipa ponude.

Izbor pravilne lokacije u uslužnim delatnostima jako je bitan, ali ovo pitanje naročito dolazi do izražaja prilikom određivanja veličine i lokacije maloprodajnih trgovinskih objekata, hotela, banaka i sl. Lokacija mesta pružanja usluga posebno je značajna kod usluga niske vrednosti i impulsivnih kupovina (Veljković 2009). Kotler, Boven i Mekens (Kotler *et al.* 2006) smatraju da postoji četiri koraka prilikom odabira lokacije. Prvi korak je razumevanje marketing strategije i ciljnog tržišta kompanije. Drugi korak je regionalna analiza, koja podrazumeva odabir geografskog područja. Sledeći korak je odabir područja u okviru regije dok je poslednji korak izbor konkretne lokacije. Ovi autori skreću pažnju da konkurencija prilikom odabira lokacije ne mora imati negativne efekte. Štaviše, restorani i hoteli veoma često su grupisani na jednom mestu (ulici, delu grada), gde su potrošači izloženi velikom izboru.

Pozicioniranje konkurenata na jednoj lokaciji u suprotnosti je sa društvenim optimumom i za potrošače predstavlja krajnje neracionalno rešenje jer postoje lokacije gde je konkurencija mnogo manja a ima i mnogo potencijalnih korisnika. Ovakvo na prvi pogled neracionalno nadmetanje kompanija može se objasniti razmatranjem Hotelingove igre odnosno Hotelingovog modela.

3. HOTELINGOV MODEL: POJAM I PRIMENE

Harold Hoteling je 1929. godine razvio model koji je po njemu i dobio ime, Hotelingov zakon, koji govori o tome da je za mnoge proizvođače racionalnije da proizvode što sličnije proizvode a naziva se još i „princip minimalne diferencijacije“ kao i „linearni gradski model“.

Hotelingova igra opisuje oblik konkurencije u kojoj se pretpostavlja da su proizvodi ili usluge istog kvaliteta a kompanije koje ih proizvode se lociraju što bliže mogu i podjednako dele tržišno učešće koristeći princip minimalne diferencijacije (Hotelling, 1928).

Konkurenciju između komapanija pre Hotelinga su izučavali Bertrand i Kurno koji su svojim modelom objasnili kako se kompanije takmiče jedna protiv druge u cenama i količinama.

Imajući u vidu ovaj model Hoteling je uvideo da postoji ekvilibrijum tj. određena cena i količina po kojoj svaki od igrača treba da proizvode, ali u slučaju da jedan od igrača snizi cenu makar i za minimalni iznos, on bi osvojio ceo profit i na taj način stvorio nestabilnost. Hoteling je ovaj problem rešio tako što je prilikom traženja ekvilibrijuma uveo još jednu dimenziju u analizi konkurencije a to je udaljenost. Uzimajući u obzir da le prostor linearan moguće je postaviti jednačinu kojom se računa profit svake firme na osnovu datih lokacija i cena njihovih proizvoda.

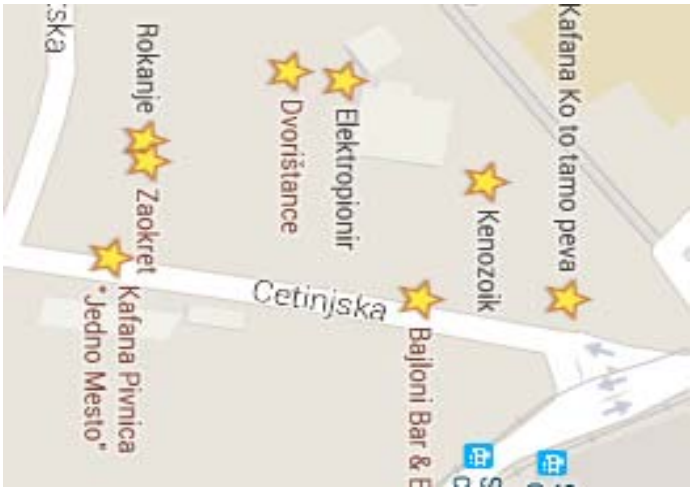
Orginalni Hotelingov model polazi od toga da dve konkurentne kompanije (igrača) treba da izaberu lokaciju u linearnom segmentu (npr. duž jedne ulice) i da potrošači koji su ravnomerno raspoređeni duž segmenta biraju onu kompaniju (proizvod) koja je njima najbliža. Pretpostavka modela je da su cene proizvoda kao i njihov kvalitet potpuno isti i da je cilj oba igrača da maksimiziraju svoj udeo na tržištu povećanjem tražnje. Prema Hotelingovom zakonu dve kompanije će se pozicionirati jedna do druge i to na pola puta, jer će jedino tada služiti pola tržišta svaka tj. jedna će služiti kupce sa leve strane a druga sa desne. Takođe i sa stanovišta funkcije društvenog optimuma koja pokušava da minimizira zbir kvadrata rastojanja

kako bi kupci bili što manje udaljeni od određene lokacije, optimalna pozicija se nalazi na pola puta duž ulice. S obzirom da su u pitanju homogeni proizvodi (iste cene i kvaliteta) kompanije se tada takmiče uvođenjem novog pakovanja, promocionim aktivnostima itd. očekujući da će i konkurent učiniti isto.

Analiza određivanja lokacije bila je predmet istraživanja brojnih radova koji su se fokusirali na prostornu konkurenciju dva ili više konkurenata (Brenner, 2005; Orlov, 2006; Livernois *et al.,* 2006; Lin, 2009). Neki od najčešćih primera koji podležu ovom modelu su banke (Dell'Ariccia, 2001) koje su često jedna do druge, sportske kladionice, restorani brze hrane, benzinske pumpe, hoteli, noćni klubovi, trgovinski lanci, širenje glasina na društvenim mrežama (Bharathi *et al.* 2007) pa čak i političke partije (Hansen, 1990; Duggan, 2007; Hummel, 2010) koje tokom izbora pokušavaju da približe svoje političke programe drugim partijama i na taj način privuku što više glasača. U kontekstu ponašanja političkih partija, Hotelingov model se objašnjava kroz tzv. Teoremu srednjeg glasača (*Median Voter Theorem*).

Brojna istraživanja ukazuju na široku primenu Hotelingovog modela za određivanje cenovne strategije (Orlov, 2016; Zhou *et al.*, 2017) posebno u uslovima neizvesnosti troškova (Pinto & Parreira, 2015) i preferencija potrošača i klijenata (Yao *et al.*, 2017), ali i za diferenciranje proizvoda i usluga (Pinto & Parreira, 2014; Ebina, Matsushima & Shimizu, 2015).

Posmatrajući proizvođače različitih proizvoda i usluga u Beogradu moguće je uočiti brojne primere gde su oni svoje poslovanje pozicionirali u jednoj ulici jedan do drugog. Tako se može primetiti da posledice Hotelingovog pravila su veoma uočljive kada su u pitanju mesta za izlazak. Tipičan primer je Cetinska ulica koja je za vrlo kratko vreme postala mesto gde su se locirali neki od najpopularnijih klubova. Takvih ulica u Beogradu ima jako puno pa veliku koncentraciju konkurenata u oblasti ugostiteljstav imamo i u ulici Strahinjića Bana, Njegoševoj, Dobračinoj ulici, koje su prava paradigma Hotelingovog modela linearnog grada.



Slika 1: Cetinska ulica u Beogradu

U naselju Stepa Stepanović postoji veliki broj apoteka koje su se koncentrisale u samom centru naselja dok u drugim delovima naselja se ne može uočiti ni jedna apoteka iako je gustina naseljenosti ista u celom naselju. Kao posledica Hotelingovog pravila postoji trend sve većeg broja proizvođača brze i ulične hrane koji su se naročito koncentrisali u nekoliko ulica u Beogradu (Vukic *et al.* 2016). Najpoznatije ulice u kojima su se trenutno locirali najveći broj restorana brze hrane su: Bulevar Zorana Đinđića, Goce Delčeva, Slavija, Bulevar Kralja Aleksandra itd. Popularnost brze hrane dolazi do izražaja pre svega zbog njenih niskih troškova, brzine pripreme ali i zarade koju ona omogućava proizvođačima pa je optimalno pozicioniranje ključ uspeha ovih restorana.

Osim restorana, apoteka, prodavnica, veoma očigledan primer u Beogradu su i banke koje nastoje da optimizuju svoje profite ali i zadovoljstvo potrošača locirajući svoje bankomate na naizgled zasićenim delovima tržišta (Bulevar Zorana Đinđića, Vojvode Stepe, Knez Mihajlova ulica itd.).

4. MODEL IZBORA LOKACIJE

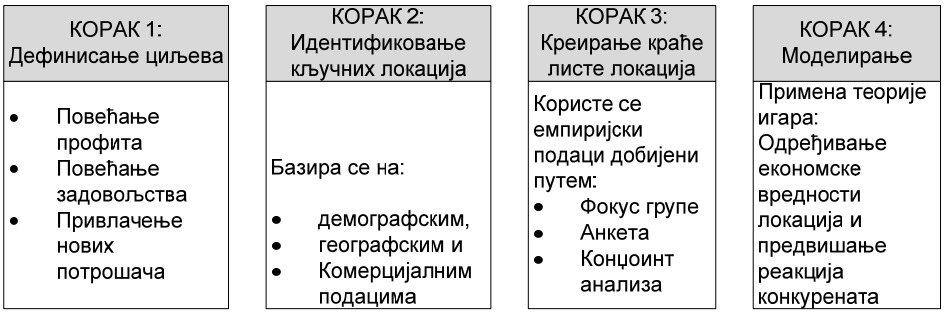
Kako bi se donela ispravna odluka o lokaciji, veoma je važno da proces odlučivanja bude struktuiran i prati definisane korake. Postupak sadrži četiri koraka (Lau and Leong 2010) (Slika 2).

Korak 1: Definisanje ciljeva svakog prodajnog objekta i dodeljivanje važnosti. Ciljevi mogu biti sledeći: povećanje profita, povećanje zadovoljstva postojećih potrošača ili privlačenje novih potrošača.

Korak 2: Identifikacija „ključnih“ lokacija koja se bazira na analizi geografskih, demografskih i komercijalnih podataka koji mogu dati odgovor gde se nalazi najveći broj potencijalnih potrošača kao i kako se to uklapa sa lokacijom objekta.

Korak 3: Sastavljanje kratke liste potencijalnih lokacija. Često je trošak predviđanja saobraćaja na velikim područjima znatno visok, pa se izbegava njegovo direktno određivanje. Može da se koristi statističko zaključivanje na osnovu hipoteza i uzorka. Fokus grupe takođe mogu da pruže korisne informacije. Detaljna analiza preferencija potrošača uz pomoć kondžoint analize može dati korisne informacije. Sprovođenjem upitnika mogu da se dobiju informacije iz prve ruke, što je posebno značajno za predele u kojima postoji veći broj centara. Nakon odabira potencijalnih lokacija, treba da se proveri i mogućnost za postavljanje lokala. Mesto treba da bude jasno vidljivo, osigurano, dostupno, sa cenom zakupa koja se uklapa u planirani budžet i pored svega na određenoj udaljenosti od drugih konkurentskih lokala. Podaci vezani za strukturu stanovništva kao što su sklonost ka korišćenju određenih usluga svojih ili konkurentskih, kao i uticaj ostalih pružalaca usluga mogu da pomognu u donošenju odluke.

Korak 4: Modeliranje i određivanje optimalne lokacije. U ovom delu primena teorije igara je od krucijalnog značaja. Predviđanjem reakcije konkurencije na svaku raspoloživu sopstvenu strategiju, može se doneti najbolja odluka.



Slika 2: Model određivanja lokacije u četiri koraka

Na osnovu prethodnih koraka moguće je razmotriti primer određivanja lokacije pozicioniranja dva proizvođača brze hrane imajući u vidu njihove konkurentske interakcije.

Ukoliko pretpostavimo da dva prozvođača brze hrane u Beogradu razmatraju postavljanje novih lokala, na raspolaganju mogu imati nekoliko tržišnih strategija. Prva startegija je da nigde ne otvaraju novi lokal (startegija N), ali da li će zadržat postojeće tržišno učešće ili će se ono povećati ili smanjiti, zavisi od akcija konkurenta. Druga strategija je da otvore lokal u ulici Bulevar Zorana Đinđića (strategija A) koja je veoma prometna i gde je konkurencija veoma velika. Treća strategija je otvaranje lokala u Ulici Vojvode Stepe (strategija B) koja je prometna ali konkurencija je mnogo manja, dok je četvrta strategija da otvore lokal u obe ulice (strategija A+B).

Analizom različitih tržišnih situacija moguće je uočiti koja strategija daje željene rezultate za oba proizvođača brze hrane imajući u vidu njihove strateške ciljeve kao i resurse preduzeće ali i troškove budućih strategija. Na Slici 3 dat je primer matrice isplata u kojima se nalaze tržišni udeli oba restorana brze hrane u kojoj su pokazane vrednosti tržišnih udela u zavisnosti od akcija svakog od njih.

		Restoran 2							
		N		A		B		A + B	
Restoran 1	N	12	14	10	16	10	18	8	21
	A	15	13	13	15	15	18	13	21
	B	16	12	16	17	13	15	13	19
	A + B	19	11	17	16	**15**	**18**	14	16

Slika 3: Matrica isplate dva restorana brze hrane

Ukoliko pretpostavimo da oba restorana donose istovremeno odluke o izboru strategije, rešenje date igre (Nešov ekvilibrijum) je skup strategija (A+B; B). Drugim rečima ukoliko racionalno razmišljaju restoran 1 bi trebao da otvori lokal i u ulici Vojvode Stepe i u Bulevaru Zorana Đinđića, dok bi drugi restoran trebao da

otvori lokal u Ulici Vojvode Stepe. Ove dve strategije predstavljaju najbolji odgovor jedna drugoj i nijednom restoranu se ne isplati da jednostrano odstupi od date strategije.

Ipak treba imati u vidu da cilj komapnija nije uvek povećanje tržišnog udela jer to ne znači uvek i veći profit. Zbog toga se vrlo često kompanije opredeljuju za povećanje profita koji zavisi od prodajne cene, pa bi dalja analiza mogla ići u tom smeru da se modelira igra cenama na osnovu čega bi se mogla odrediti i optimalna cena i lokacija. Na ovaj način se može ukazati na još jednu posledicu Hotelingovog modela a to su cenovni ratovi koji su u slučaju homogenih prizvoda veoma česti.

5. ZAKLJUČAK

Analizom Hotelingovom modela moguće je odgovoriti na brojna pitanja vezana za pozicioniranje poslovanja. Iako to možda na prvi pogled ne izgleda logično, pozicioniranje pored konkurenta je pozicija koja je najprofitabilnija za mnoge kompanije. Koristeći klasičan Hotelingov model moguće je stvoriti bolju aproksimaciju kako se kompanije takmiče u stvarnosti. Kroz primer restorana brze hrane dat je primer bimatrične igre čijim rešavanjem je moguć odrediti u kojoj ulici je najbolje postaviti restoran. Rešenje koje je dobijeno iz matrice plaćanja, putem funkcije najboljeg odgovora, ukazuje koja je najbolja lokacija za otvaranje lokala oba restorana.

Na osnovu svega ovoga moguće je zključiti da ova tema ima ne samo teorijski nego i praktični značaj, a posledice ovog modela su vidljive u svim uslužnim delatnostima u Srbiji.

LITERATURA

[1] Bharathi, S., D. Kempe, & M. Salek. (2007). Competitive influence maximization in social networks“. In Proceedings of the 3rd international conference on Internet and network economics (WINE), Berlin, Heidelberg, Springer 306–311.

[2] Brenner, S. (2005). Hotelling games with three, four, and more players. *Journal of Regional Science*, *45*(4), 851-864.

[3] Dell'Ariccia, G. (2001). Asymmetric information and the structure of the banking industry. *European Economic Review*, *45*(10), 1957-1980.

[4] Duggan, J. (2007). Equilibrium existence for zero-sum games and spatial models of elections. *Games and Economic Behavior*, *60*(1), 52-74.

[5] Ebina, T., Matsushima, N., & Shimizu, D. (2015). Product differentiation and entry timing in a continuous time spatial competition model. *European Journal of Operational Research*, *247*(3), 904-913.

[6] Goljanin, D. (2010). Marketing u trgovini, Univerzitet Singidunum, Beograd.

[7] Hansen, P., J.-F. & Thisse, R.W. (1990). Equilibrium analysis for voting and competitive location problems“, In P. B. Mirchandani, R. L. Francis (Eds.), Discrete Location Theory, New York, NY, Wiley 439–478.

[8] Hotelling, H. (1928). Stability in Competition, The Economic Journal, 41-57.

[9] Hummel, P. (2010). On the nature of equilibria in a Downsian model with candidate valence. *Games and Economic Behavior*, *70*(2), 425-445.

[10] Kotler, P., Bowen, J., & Makens, J.(2006). Marketing for Hospitality and Tourism, Pearson Education.

[11] Lau, J., & Leong, J. (2010). ATM Banking + Game of theory = Profit. Chicagi: A.T. Kearney,

[12] Lin C-Y C. (2009). Insights form a simple Hotelling model of the world oil market“. Nat Resour Res, 18:119–28.

[13] Livernois J, Thille H., & Zhang, X. (2006). A test of the Hotelling rule using old-growth timber data.“ Canadian Journal of Economics, 39(1): 163–86.

[14] Orlov, A. (2006). Effects of higher domestic gas price in Russia on the European gas market. A game theoretical Hotelling model, Applied Energy, 164: 188-199.

[15] Orlov, A. (2016). Effects of higher domestic gas prices in Russia on the European gas market: A game theoretical Hotelling model. *Applied Energy*, *164*, 188-199.

[16] Pinto, A. A., & Parreira, T. (2014). Maximal differentiation in the Hotelling model with uncertainty. In *Modeling, Dynamics, Optimization and Bioeconomics I* (pp. 585-600). Springer, Cham.

[17] Pinto, A. A., & Parreira, T. (2015). Price competition in the Hotelling model with uncertainty on costs. *Optimization*, *64*(11), 2477-2493.

[18] Veljković, S. (2009.). Marketing usluga, CID, Ekonomski fakultet, Beograd.

[19] Vukic, M., Kuzmanovic M., & Vukic, M. (2016). Consumer' preferences for street food: Empirical study. Proceedings of VI International Symposium EMC.

[20] Yao, Y., Zhao, H., Chen, Y., Xu, D., & Long, Y. (2017). Positioning–pricing problem of heterogeneous duopoly with uncertain consumer preferences. *Soft Computing*, 1-8.

[21] Zhou, X., Zhao, C., Li, H., & Tu, Y. (2017). Hotelling Model Based Dynamic Pricing of Three Sides. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management* (pp. 99-111). Springer Singapore.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

GRUPNO NASPRAM INDIVIDUALNOG PONAŠANJA U EKSPERIMENTALNIM IGRAMA

GROUP VERSUS INDIVIDUAL BEHAVIOR IN EXPERIMENTAL GAMES

SOFIJA PROKIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, sofija.prokic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ponašanje ljudi kao pojedinaca ili u grupi, zavisi od mnogo faktora, kako iz okruženja, tako i od benefita koje mogu da ostvare, ali i od samog tipa igrača. Kroz ovaj rad su prikazani razni faktori koji utiču na ponašanje igrača u eksperimentalnim igrama poput Igre stonoge,Ultimatum igre, Igre poverenja i Dileme zatvorenika. Na osnovu pregleda literature, praćeno je ponašanje igrača za svaku od pomenutih igara i pravljena je paralela između ponašanja grupnih i individualnih igrača. Predstavljeni eksperimeti pokazuju da je poslednje dve decenije, strateško ponašanje grupa racionalnije i sebičnije od pojedinačnih igrača.*

Ključne reči: *Eksperimentalne igre, Grupno i individualno ponašanje, Igra stonoge, Ultimatum igra, Igra poverenja, Dilema zatvorenika.*

Abstract: *Behavior of people as individuals or in a group, depends on many factors, from the environment and from the benefits that they can achieve, but also from the type of players they are. This paper presents different factors that affect the behavior of players in experimental games such as the Centipede game, the Ultimate Game, Game of trust and Prisoner's dilemma. Based on the literature review, the player's behavior was surveyed for each of these games, and parallels were made between the behavior of group and individual players. The presented experiments show that for the last two decades, the strategic behavior of groups is more rational and more selfish than individual players' behavior.*

Keywords: *Experimental games, Group and individual behavior, Centipede game, Ultimatum game, Trust game, Prisoner's dilemma.*

1. UVOD

Kroz istoriju, ponašanje ljudi je privlačilo veliku pažnju naučnika, koji su želeli da ispitaju da li postoje uslovljenosti koje prouzrokuju određeno ponašanje kod ljudi. Razni eksperimenti su vršeni na tu temu, ispitivano je ponašanje pojedinaca i ponašanje u grupi. Fehr i Šmid (Fehr & Schmidt, 1999) su prvi zauzeli stav da, iako neki ljudi gledaju samo sopstvenu korist, ima i onih koji nisu motivisani i okrenuti samo ka sopstvenim interesima. Oni su pretpostavljali da su neki igrači orijentisani ka pravednosti i fer igri. Takvi igrači bi se orijentisali na dobit, odnosno, interes čitave grupe, čak i na štetu pojedinaca (Li, 2008).

Na osnovu pregleda literature, uočeni su različiti faktori koji utiču na ponašanje igrača u eksperimentalnim igrama i ti faktori su ispitivani u različitim oblastima, kao što su sociologija, biologija, ekonomija, psihologija. Neki od faktora koji su ispitivani su :

- Dužina igre (McKelvey & Palfrey, 1992)
- Funkcija isplata (Fey, McKelvey & Palfrey, 1996)
- Iteracije u igri (Nagel & Tang, 1998)
- Veličina uloga (Parco, Rapoport & Stein, 2002)
- Tip igrača (Bornstein et al., 2004; Levitt, List & Sadoff, 2011)

U ovom radu biće opisane neke od eksperimentalnih igara, kao što su Igra stonoge, Ultimatum Igra, Igra poverenja i Dilema zatvorenika, u kojima je mereno ponašanje individualnih igrača i igrača u grupi, kao i pregled rezultata vršenih eksperimenata.

2. EKSPERIMENTALNE IGRE

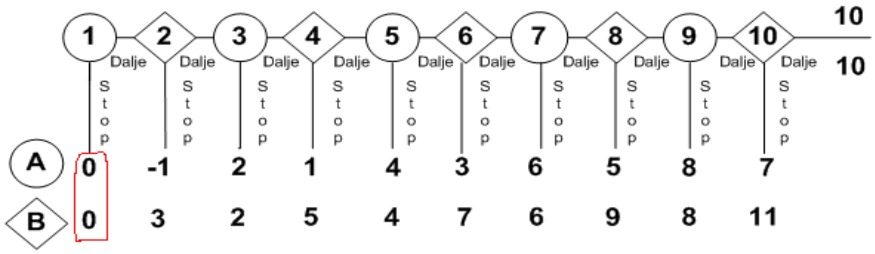
Teorija igara predstavlja oblast primenjene matematike, koja se bavi modeliranjem i analizom igara u kojima igrači povlače strateške poteze kako bi maksimizirali sopstvenu pobedu, odnosno maksimizirali svoje isplate

u različitim igrama. Svaka igra obuhvata dva ili više donosioca odluka (Igrači), različite izbore delovanja (Strategije), kao i isplate za svakog igrača. Igrači prilikom donošenja odluka, često nisu racionalni. Racionalno rešenje za svakog igrača je da nađe savršeni ekvilibrijum podigre i da donosi odluke u skladu sa njim. "Ekvilibrijum je ishod igre racionalnih igrača" (Kuzmanović, 2017).

Eksperimentalne igre omogućavaju istaživaču da se pomoću eksperimenata ispitaju i dokažu ključne karakteristike iz okruženja koje utiču na određeno ponašanje kod igrača ili koje izazivaju određenje posledice, koje često nisu u skladu sa racionalnim ponašanjem.

2.1. Igra stonoge

Igra stonoge je igra koju je uveo Rozental (Rosenthal, 1981), a ime joj je dao Binmor (Binmore, 1987) koji je dizajnirao verziju igre sa stotinu čvorova. Mnogi naučnici su kasnije modifikovali igru stonoge i davali svoje verzije, ali ono što je karakteristično je da su svi pretpostavljali da će se igra završavati u SPE (savršenom ekvilibrijumu podigre), međutim to se pokazalo kao netačno i igra je uglavnom završavana na sredini stabla. Igra stonoge pokazuje da igrači koji su racionalni treba da odustanu na samom početku igre, odnosno, na prvom čvoru koji predstavlja ekvilibrijum. U tom čvoru nisu najveće isplate za igrače, ali su im te isplate najsigurnije. Kako se više odmiče sa igrom, isplate se povećavaju, ali je i rizik od gubitka istog, veći. MekKelvej i Palfrej (McKelvey & Palfrey ,1968) su pokušali da kroz *visinu isplate* kod igrača ispitaju ponašanje jer su smatrali da je to faktor koji najviše utiče na igrače. MekKlintok (McClintocк, 1972) je ispitivao dešavanja iz *okruženja,* dok su Basu, Mitra i Gupta (Basu, Mitra, & Gupta, 2013) ispitivali *racionalnost* igrača. Svaki od ovih faktora je imao uticaj na ponašanje igrača, ali se na osnovu njih nije mogla izvesti jasna klauzula kako će se u kojoj igri ponašati.

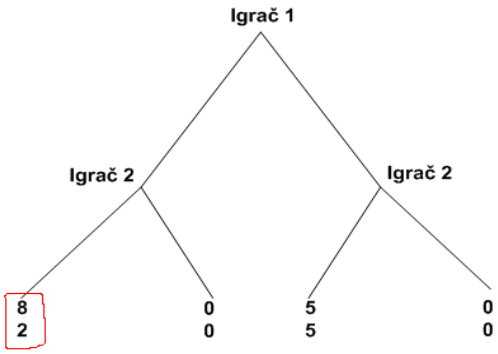


Slika 1: Rozentalova igra stonoge

2.2. Ultimatum igra

Ultimatum igra se prvi put pojavljuje od strane Guta, Šmitbergera i Švarca kao rezultat pregovora. (Güth, Schmittberger, & Schwarze, 1982) Ideja se zasniva na tome da prvi igrač daje predlog podele sume novca između njega i drugog igrača. Drugi igrač bira da li će da prihvati ili odbije predlog. Ako prihvati, suma se deli kako je dogovoreno, ali ukoliko odbije, nijedan igrač ne dobija ništa. Ova igra se igra samo u jednoj rundi, tako da uzvraćanje nije uzeto u obzir pri donošenju odluke. Uzimajući u obzir Nešov ekvilibrijum, drugi igrač bi trebalo da prihvati bilo koju ponudu novca koju dobije od strane prvog igrača jer je bolje da dobije išta nego ništa. Znajući to, prvi igrač treba da ponudi najmanju moguću sumu novca. Nije iznenađujuće, ali je dokazano da niže ponude češće budu odbijene.

Zanimljivo je da su švedski naučnici utvrdili da je empatija bitno uticala na raspodelu novca i da su igrači spremni da daju veću sumu novca, ukoliko znaju da je saigrač u lošoj finansijskoj situaciji ili čak, ukoliko je socijalno ugrožen. (David, Christopher, Johannesson, Lichtenstein, & Bjorn, 2009)

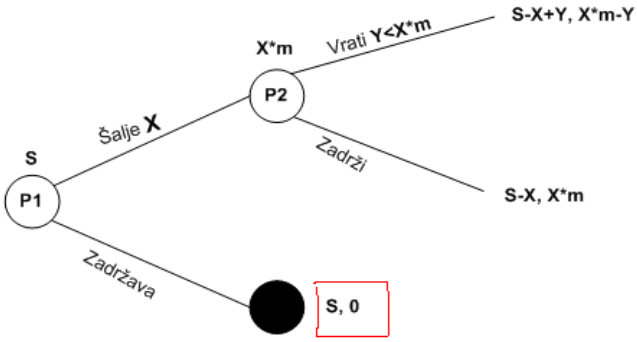


Slika 2: Ultimatum igra

Na slici 2, dat je prikaz mogućnosti izbora igrača 1, koji može da bira između (8,2) i (5,5). Ukoliko izabere (8,2) smatra se da je njegov izbor odraz pohlepe i sebičnosti, jer je mogao da izabere da oba igrača dobiju isti iznos. U praksi se pokazalo, tvrdi Harbaug, da ljudi uglavnom daju optimalne ponude, odnosno, one za koje smatraju da će biti prihvaćene, a koje će opet omogućiti predlagaču da dobije visoku isplatu (Harbaugh, Krause, & Vesterlund, 2007).

2.3. Igra poverenja

Igra poverenja je takođe eksperimentalna igra slična Ultimatum igri, gde igraju dva anonimna igrača. Osmislio ju je Berg (Berg, Dickhaut, & McCabe, 1995) kroz eksperiment za merenje ekonomskih odluka. Igra može da se igra individualno ili u grupi i istraživano je ponašanje igrača za oba tipa igre. Kroz eksperiment se pokazalo da se ne treba oslanjati na poverenje i donositi odluke bazirane na poverenju.



Slika 3: Igra poverenja

Na slici 3 dat je prikaz kako se novac deli među igračima. U proseku, Berg je zaključio da se veća količina novca vraća igraču 1 od one koju je on poslao igraču 2. Objašnjenje za ovo, Berg je našao u tome, da ukoliko se Igra poverenja igra u više rundi, igrač 2 želi da stekne poverenje kod igrača 1, tako što mu šalje veću količinu novca, kako bi bi i igrač 1 njemu poslao veću količinu u narednoj rundi, koja će se zatim utrostručiti (Berg, Dickhaut, & McCabe, 1995).

2.4. Dilema zatvorenika

Još jedna eksperimentalna igra koja analizira ponašanje igrača, koji možda neće sarađivati, iako je to u njihovom najboljem interesu. Albert Taker (Tucker, 1983) je prvi uveo dilemu zatvorenika.

Igra se sastoji u tome da dva zatvorenika u igri mogu da sarađuju i ne sarađuju, pri čemu će da provedu po 1 godinu u zatvoru. Ukoliko jedan izda i optuži drugog za zločin, a drugi saradjuje (drži se dogovora da ne izda), drugi će provesti 3 godine u zatvoru, a prvi koji je izdao će biti oslobođen i ukoliko obojica izdaju (ne sarađuju), provešće u zatvoru po 2 godine. Sudija navodi igrače da međusobno ne sarađuju, nudeći im bolju nagradu tj. manje godina u zatvoru, nego kada bi sarađivali (Wildschut, Insko, & Pinter, 2007).

		Igrač 1	
		Saradjuje	Ne saradjuje
Igrač 2	Saradjuje	3 / 3	1 / 4
	Ne saradjuje	4 / 1	2 / 2

Slika 4: Dilema zatvorenika

U praksi se pokazalo da je najbolje rešenje u ovoj i sličnim igrama da igrači međusobno sarađuju zbog isplata.

3. GRUPNO NASPRAM INDIVIDUALNOG PONAŠANJA-PRIKAZ EKSPERIMENATA

Rezultati brojnih eksperimenata ukazuju na razlike u ponašanju individualnih i grupnih igrača (Morgan & Tindale, 2002; Kocher & Sutter, 2005; Cason & Mui, 2017). Bonstin, Kugler i Zegolmer (Bornstein, Kugler, & Zieg, 2004) su sproveli eksperiment *Igre stonoge* u kom je ideja bila da se prati ponašanje igrača u grupi i

играча koji igraju individualno. Eksperiment je bio podeljen u dva dela, gde su se sume u prvom delu linearno povećavale kako su igrači sarađivali, dok su u drugom delu, sume ostajale konstantne. Svaku igru su igrali ili pojedinci, ili grupe koju su činile tri osobe. Članovi grupe su mogli da komuniciraju i da se dogovore da li će završiti igru ili će nastaviti sa igrom.

Slika 5: Igra stonoge sa linearnim povećanjem isplata

Slika 6: Igra stonoge sa konstantim sumama

Posmatrajući oba eksperimenta, autori su zaključili da su i pojedinačni i igrači u grupama završavali igru konstantne sume pre igre sa linearnim povećanjem sume. Bitan rezultat je i taj da su u igri sa konstantnom sumom, grupe završavale igru pre pojedinačnih igrača. To je pokazalo da su grupe bile racionalniji igrači od pojedinaca. Autori su zaključili da su grupe želele više od individualnih igrača da pobede, ali su manje bile spremne da rizikuju, jer je ishod igre uticao na više ljudi, te su zbog toga ranije završavale igru.

Ponašanje igrača u zavisnosti od toga da li igraju individualno ili grupno u Igri stonoge je toliko zaintrigiralo naučnike da su rešili da naprave poređenje tog ponašanja u različitim igrama.

Još jedan dokaz da su grupe racionalnije od pojedinačnih igrača, pokazalo se kroz eksperiment, u kom su igrači sami određivali sumu novca koju će oni dobiti, ali i onu sumu koju će dobiti protivnik. Borstein i Aniv (Bornstein & Ilan, 1998) su posmatrali ponašanje pojedinaca i grupa u *Ultimatum igri*.

U ovoj igri prvi igrač mora da predloži podelu sume novca između njega i igrača 2. Ako igrač 2 odbije predlog, nijedan igrač neće dobiti ništa. Ako je igrač 2 racionalan, prihvatiće bilo koji pozitivan predlog. Igrač 1 koji treba da je motivisan tako da maksimizira svoju dobit, baš kao i igrač 2 , treba da predloži za sebe bilo koju sumu veću od jednog penija. Borstein i Aniv su utvrdili da, iako ni pojedinci ni grupe nisu racionalni igrači, grupe koje su u ovoj situaciji predstavljale igrača 1, ponudile su manje od pojedinačnih igrača, dok su grupe u ulozi igrača 2 bile spremne da prihvate manje.

Eksperiment koji je sproveo Koks (Cox, 2004) poredio je grupno i individualno ponašanje igrača u *Igri poverenja* (Berg, Dickhaut, & McCabe, 1995). Eksperiment se odvijao tako što je igrač 1 (pošiljalac) imao određenu sumu novca od koje je mogao proizvoljni deo da pošalje igraču 2 (primaocu). Suma koju je poslao se utrostručuje i sada je igrač 2 slao nazad igraču 1, bilo koji deo te utrostručene sume. Ukoliko je igrač 2 sebičan, on može da ne pošalje ništa nazad, igraču 1. Takođe, igrač 1 ukoliko je sebičan, neće ništa poslati igraču 2. Međutim, ukoliko bi igrači ovako igrali, to ne bi bilo isplativo ni za jednog od njih i to je najneefikansiji način igre za oba igrača. Ako bi se igrala efikasna i fer igra za oba igrača, prvi igrač bi poslao celu sumu igraču 2, a ovaj bi mu nazad vratio polovinu utrostručene sume (Bornsteina, Kuglera, & Ziegelmeyerb, 2002). Koks je utvrdio da, iako nije bilo značajnih razlika među grupnim i pojedinačnim ispitanicima, ipak su grupe kao odgovor na poslatu sumu, slale nazad manje svote novca nego pojedinačni igrači.

Kada je u pitanju *Dilema zatvorenika*, ukoliko se igra ponavlja *N* puta, pri čemu igrači ne znaju tačno koliko puta, zbog manipulacije, igrači treba da nađu Nešov ekvilibrijum i igraju u skladu sa njim. Na taj način će isplate biti najsigurnije za oba igrača, u suprotnom će jedan profitirati, a drugi izgubiti. U konkretnom eksperimentu, pokazalo se da će grupe pre da izdaju, nego pojedinačni igrači i da su sebičnije.

Objašnjenje za to je što grupe unutar sebe daju podršku jedni drugima u svojoj pohlepi, tj. nameri da osvoje što veći deo nagrede za sebe.

Takođe, grupe smatraju da će i njihovi protivnici igrati sebično i ne žele da budu eksploatisane i nasamarene, te stoga povlače ovakve poteze. Još jedna data hipoteza za ovakvo ponašanje je ta, da pojedinačni igrači preuzimaju svu odgovornost na sebe, bez obzira da li je u pitanju dobitak ili gubitak, dok se kod grupa ta odgovornost deli, pa su igrači u grupi smeliji kada je u pitanju izdaja. Morgan i Tindal (Morgan & Tindale, 2002) su došli do zaključka da se grupe ponašaju konkurentnije od pojedinaca i da ukoliko jedan član grupe želi da izda, u 50% slučajeva uspe da nagovori i ostale članove da izdaju.

U predstavljenim eksperimentima se pokazalo da su grupe sebičnije, odnosno manje racionalne od pojedinačnih igrača u ekonomskom smislu, međutim postoje i suprotne tvrdnje. Kason i Mui (Cason & Mui, 1997) tvrde da su grupe manje sebične od pojedinaca u Diktator igri (Ultimatum igra gde igrač 1 mora da podeli sumu novca na sebe i igrača 2, pri čemu igrač 2 treba da prihvati ponudu). Kao razlog za to, naveli su u svom eksperimentu objašnjenje, da grupni igrači neretko donose društveno prihvatljive odluke, odnosno menjaju svoje odluke u skladu sa razmišljanjem većine, kako ne bi bili kritikovani ili odbačeni od strane okoline.

Da se zaključiti da i pojedinci i grupe prave različite odluke u strateškim igrama, pri čemu su grupne odluke, pokazalo se, racionalnije. Pošto su prikazane različite igre sa različitim načinima razmišljanja i pristupima od strane grupnih i pojedinačnih igrača, sam ishod igre i ponašanje pojedinaca ne može da se generalizuje, odnosno, ne može se eksplicitno navesti koju će strategiju igrači koristiti. U skladu sa tim, svaka igra je individualna i igrači prilagođavaju svoje strategije u skladu sa trenutnim situacijama u igrama.

4. ZAKLJUČAK

Eksperimentalne igre opisane u ovom radu, pokazuju raznolikost svih ovih igara kao i to da svaka od njih pruža mnoštvo različitih ishoda i mnoštvo načina pomoću kojih se igrači opredeljuju da povuku određeni potez, zbog toga one ne daju jedinstvenu teoriju kako bi igrači trebali da reaguju na određene situacije, bez obzira na to da li igraju individualno ili u grupi. O tome koju će strategiju primeniti, igrači razmišljaju tek kada igra počne, kada vide koja igre je pitanju, koliko ima igrača i na koji način saigrači razmišljaju i povlače poteze.

Takođe, utvrđeno je da grupe imaju tendenciju da rade bolje nego pojedinci u mnogim domenima. Levin, Karni i Čarnis (Charness, Karni, & Levin, 2010) su utvrdili da grupe naprave manje grešaka od pojedinaca kada su u pitanju rizične odluke i da stopa grešaka opada sa veličinom grupe. Osim toga, grupne odluke pokazuju manje varijacija, za razliku od pojedinačnih, a jedan od mogućih razloga za to je što su grupe su sklone uticaju okolnosti iz okruženja ili drugih igrača (Kugler, Kausel, & Kocher, 2012).

Jedna od pouka koja može da se izvuče je da u eksperimentima ne treba uzimati motivaciju učesnika olako. Svaki igrač je individua za sebe, prema tome, treba razmotriti i šta je to što igrače, odnosno pojedince i grupe, motiviše da načine određeni potez tokom igre. Kada se sve uzme u obzir, onda teorija igara sa svojim alatima može na najbolji mogući način da ispuni svoj zadatak, odnosno da na precizniji način predvidi poteze suparnika i pomogne igračima da se odluče za odgovarajuću strategiju. Takođe, ključni elementi su faktori koje treba dobro razmotriti jer su oni glavni okidači tog ponašanja.

LITERATURA

[1] Aumann, R. (1992). *Irrationality in game theory.* Cambridge: Cambridge: MA: MIT Press.

[2] Basu, S., Mitra, S., & Gupta, G. (2013). Wealth Differences in a Centipede Game: Backward Induction in an Experimental. *International Journal of Humanities and Social Science*, 212-230.

[3] Berg, J., Dickhaut, J., & McCabe, K. (1995). Trust, reciprocity, and social history. *Games and economic behavior, 10(1)*, 122-142.

[4] Binmore, K. (1987). Modeling rational players: Part I. *Economics & Philosophy*, *3*(2), 179-214.

[5] Bornstein, G., Kugler, T., & Zieg, A. (2004). Individual and group decisions in the centipede game: Are groups more ‘‘rational’’ players? *Journal of Experimental Social Psychology 40*, 599–605.

[6] Bornsteina, G., Kuglera, T., & Ziegelmeyerb, A. (2002). Individual and Group Behavior in the Centipede Game: Are Groups (Again) More Rational Players? *Journal of Economic Literature C*, 72-92.

[7] Brewer, E. (2012). "CAP twelve years later: How the "rules" have changed". *Computer, Volume 45, Issue 2*, 23–29.

[8] Cason, T. N., & Mui, V. L. (1997). A laboratory study of group polarisation in the team dictator game. *The Economic Journal, 107(444)*, 1465-1483.

[9] Cason, T. N., & Mui, V. L. (2017). Individual versus Group Choices of Repeated Game Strategies: A Strategy Method Approach.

[10] Charness, G., Karni, E., & Levin, D. (2010). On the conjunction fallacy in probability judgment: New experimental evidence regarding Linda. *Games and Economic Behavior, 68(2)*, 551-556.

[11] Cox, J. C. (2004). How to identify trust and reciprocity. *Games and economic behavior, 46(2)*, 260-281.

[12] David, C., Christopher, D. T., Johannesson, M., Lichtenstein, P., & Bjorn. (2009). Experimental Game Theory and Behavior Genetics. *Department of Economics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge,Massachusetts 02142, USA* , 1-10.

[13] Fehr, E., & Schmidt, M. K. (1999). A theory of fairness, competition, and cooperation. *The quarterly journal of economics, 114(3)*, 817-868.

[14] Fey, M., McKelvey, R., & Palfrey, T. R. (1996). An experimental study of constant-sum centipede games. *International Journal of Game Theory, 25(3)*, 269-287.

[15] Goren, H., Kurzban, R., & Rapoport, A. (2003). Social loafing vs. social enhancement: Public goods provisioning in real-time with irrevocable commitments. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 277-290.

[16] Güth, W., Schmittberger, R., & Schwarze, B. (1982). An experimental analysis of ultimatum bargaining. *Journal of economic behavior & organization, 3(4)*, 367-388.

[17] Harbaugh, W. T., Krause, K., & Vesterlund, L. (2007). Learning to bargain. *Journal of Economic Psychology, 28(1)*, 127-142.

[18] Kocher, M. G., & Sutter, M. (2005). The decision maker matters: Individual versus group behaviour in experimental beauty-contest games. *The Economic Journal*, *115*(500), 200-223.

[19] Kocher, M. G., & Sutter, M. (2007). Individual versus group behavior and the role of the decision making procedure in gift-exchange experiments. *Empirica, 34(1)*, 63-88.

[20] Kugler, T., Kausel, E. E., & Kocher, M. G. (2012). Are Groups more Rational than Individuals? A Review of Interactive Decision Making in Groups. *CESIFO WORKING PAPER NO. 3701* , 1-33.

[21] Kuzmanović, M. (2017). *Teorija igara.* Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[22] Li, J. (2008). The power of conventions: A theory of social preferences. *Journal of Economic Behavior & Organization, 65(3)* , 489-505.

[23] McKelvey, & Palfrey. (1992). An experimental study of the Centipede game. *Journal of the Econometric Society*, 803-836.

[24] McKelvey, P. (1968). An experimental study of the Centipede game. *Journal of Experimental Social Psychology*, 1-25.

[25] Megiddo, D. (1986). *On the complexity of linear programming.* Cambridge: IBM Thomas J. Watson .

[26] Morgan, P. M., & Tindale, R. S. (2002). Group vs individual performance in mixed-motive situations: Exploring an inconsistency. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 87(1)*, 44-65.

[27] Nagel, R., & Tang, F. F. (1998). Experimental results on the centipede game in normal form: an investigation on learning. *Journal of Mathematical psychology, 42(2)*, 356-384.

[28] Rosenthal, R. W. (1981). Games of Perfect Information, Predatory Pricing, and the Chain Store. . *Journal of Economic Theory*, 92-100.

[29] Tucker, A. W. (1983). The mathematics of tucker: a sampler. . *The Two-Year College Mathematics Journal, 14(3)*, 228-232.

[30] Wildschut, T., Insko, C. A., & Pinter, B. (2007). Interindividual-intergroup discontinuity as a joint function of acting as a group and interacting with a group. *European Journal of Social Psychology, 37(2)*, 390-399.

[31] Zuckerman, M., Miron, Bella, D. M., & Rosenthal, R. (1981). "Verbal and nonverbal communication of deception.". *Advances in experimental social psychology*, 1-59.

[32] McClintocк. (1972). Social motivation—A set of propositions. *Behavioral Science, 17(5)*, 438-454.

2017

UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM I LANCI SNABDEVANJA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRIMENA WAGNER-WHITIN I WEGELMANS – HOESEL – KOLEN MODELA U OPTIMIZACIJI NABAVKE ZALIHA

APPLICATION OF WAGHER-WHITIN AND WEGELMANS – HOESEL – KOLEN MODEL IN OPTIMIZATION OF SUPPLY PROCUREMENT

ZORAN POPOVIĆ[1], MARKO BACKOVIĆ[2], MARIJANA NOVKOVIĆ[3]

[1] Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, zpop@ekof.bg.ac.rs
[2] Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, backovic@ekof.bg.ac.rs
[3] PlusPlus d.o.o, mar.novkovic@gmail.com

Rezime: *U svrhu optimizacije nabavke zaliha, razvijeni su matematički modeli koji „opisuju“ ponašanje sistema, a koji za cilj imaju određivanje optimalnog plana nabavke zaliha, koji minimizira troškove upravljanja zalihama, pri tome vodeći računa o zadovoljavanju potreba za tražnjom. U radu će biti razmatrana primena Wagner-Whitin i Wegelmans – Hoesel – Kolen modela, koji pripadaju grupi determinističkih modela upravljanja zalihama sa poznatom, ali promenljivom tražnjom. Modeli će biti predstavljeni na problemu optimizacije nabavke zaliha proizvoda VetPlus Lypex iz asortimana preduzeća PlusPlus d.o.o.*

Ključne reči: *optimizacija nabavke zaliha, Wagner-Whitin model, Wegelmans – Hoesel – Kolen model.*

Abstract: *With the purpose of optimization of supply procurement, mathematical models were developed that describe the behaviour of the system, and with a goal of determining the optimal plan of supply procurement that minimizes cost of supply management, while providing demand coverage. In the study, Wagner-Whitin and Wegelmans – Hoesel – Kolen model, deterministic model for optimization of supply procurement for which the demand is known, but variable over observed periods of time, will be presented. Model will further be discussed on application of stock of VetPlus Lypex, product of PlusPlus Ltd. assortment.*

Keywords: *optimization of supply procurement, Wagner-Whitin model, Wegelmans – Hoesel – Kolen model.*

1. UVOD

Optimizacija nabavke zaliha predstavlja jedan od najvećih izazova u poslovanju svakog preduzeća. Cilj ove optimizacije je pronalaženje optimalnog plana nabavke zaliha, koji podrazumeva zadovoljavanje zahteva (potreba) svih korisnika/kupaca sa jedne strane, pri čemu, sa druge strane, treba voditi računa da troškovi nabavke i držanja zaliha budu na prihvatljivo niskom nivou.

Organizacije sve češće koriste operaciona istraživanja za donošenje odluka i unapređenje politike upravljanja zalihama. Ovo podrazumeva formulisanje matematičkih modela koji najpre „opisuju“ ponašanje sistema zaliha, a zatim pronalaženje optimalne politike zaliha korišćenjem odgovarajućih modela.

Dinamički modeli, odnosno deterministički modeli promenljive tražnje, koriste se u slučaju kada je tražnja po posmatranim periodima različita, ali i dalje poznata. Upravo dva takva modela, predstavljaju i Wagner-Whitin i Wegelmans – Hoesel – Kolen model, koji će u nastavku rada biti predstavljeni na problemu optimizacije nabavke zaliha proizvoda VetPlus Lypex, iz asortimana preduzeća PlusPlus d.o.o.

2. WAGNER-WHITIN MODEL

Postavka modela

U svrhu analize, najpre je potrebno definisati vremenski period planiranja optimizacije nabavke, kao i broj vremenskih intervala na koji se ovaj period deli. Tražnja, količine naručivanja u posmatranim periodima, kao i količine zaliha na kraju perioda, označene su sa:

$$d_t = tražnja\ u\ periodu\ t, \qquad za\ t = 1, 2, \ldots, T \tag{1}$$

$$y_t = količina\ narudžbine\ u\ periodu\ t, \qquad za\ t = 1, 2, \ldots, T \tag{2}$$

$$x_t = količina\ zaliha\ na\ kraju\ perioda\ t, \qquad za\ t = 1, 2, \ldots, T. \tag{3}$$

Radi pojednostavljenja analize, uzima se da je vreme naručivanja jednako nuli. Troškovi pripreme narudžbine se pojavljuju na početku perioda, i jednaki su K ukoliko je $y_t > x_t$; u suprotnom su jednaki nuli. Dakle, ovaj trošak može da se označi i sa $K\delta_t$, gde:

$$\delta_t = \begin{cases} 1, za\ y_t > x_t \\ 0, u\ ostalim\ slučajevima. \end{cases} \tag{4}$$

Troškovi držanja zaliha (h), obračunavaju se samo za onu količinu proizvoda koja se nalazi na zalihama na kraju perioda. Zalihe na kraju perioda t su date sa:

$$x_t = \sum_{j=1}^{t} (y_j - d_j) \tag{5}$$

Postoje i troškovi držanja zaliha onih jedinica koje se nalaze na zalihama samo deo posmatranog perioda, pre nego što budu povučene sa zaliha, kako bi zadovoljile tražnju. Međutim, ovo su fiksni troškovi koji su nezavisni od politike zaliha, pa stoga nisu ni relevantni za analizu. Isti slučaj je i sa troškovima po jedinici proizvoda (c), koji takođe predstavljaju fiksni trošak, i time ne utiču na optimalni plan nabavke zaliha.

Zaključuje se da je za optimizaciju potrebno naći minimalne ukupne troškove, koji prave kompromis između troškova iz kojih se sastoje, odnosno troškova pripreme narudžbine i troškova držanja zaliha:

$$Z_1(x_1) = min \sum_{t=1}^{T} \{K\delta_t + h(y_t - d_t)\} \tag{6}$$

gde je:

$$\mathrm{y}_1 \geq \mathrm{x}_1, \mathrm{y}_2 \geq \mathrm{x}_2, \ldots, \mathrm{y}_\mathrm{T} \geq \mathrm{x}_\mathrm{T}$$

$$y_1 \geq d_1, y_2 \geq d_2, \ldots, y_T \geq d_T$$

$$x_{t+1} = y_t - d_t, x_{t+1} \geq 0 \qquad t = 1, 2, \ldots T - 1, x_{T+1} = 0.$$

Wagner i Whitin su razvili efikasan algoritam za rešavanje ovog problema koji je zasnovan na tome da optimalna politika naručivanja ima sledeće svojstvo:

$$y_t x_{t-1} = 0 \qquad t = 1, 2, \ldots, T. \tag{7}$$

Ovo znači da je $y_t > 0$, samo ako je $x_{t-1} = 0$, odnosno:

Optimalna politika zaliha podrazumeva naručivanje (ili proizvodnju) samo kada je nivo zaliha jednak nuli.

Postupak podrazumeva izračunavanje ukupnih troškova u nizu iteracija, u kojima se razmatraju različiti planovi optimizacije nabavke. Pri tome, svaka iteracija obuhvata po jedan posmatrani vremenski interval. Polazi se od poslednjeg posmatranog intervala, a za svaki interval se razmatra plan nabavke da se na početku posmatranog perioda nabavlja količina potrebna da pokrije tražnju samo tog perioda, a zatim se razmatraju i ostali pretpostavljeni planovi: da se na početku posmatranog perioda nabavlja količina potrebna da zadovolji tražnju tog i prvog sledećeg perioda, zatim i drugog perioda nakon njega itd. Nakon što se razmotre sve moguće kombinacije za svaki posmatrani period, određuje se onaj plan koji minimizira ukupan trošak za svaki posmatrani period pojedinačno. Ceo postupak se završava kada se odrede količine za sve pojedinačne nabavke ukupnog plana nabavke, kojim se obezbeđuju zalihe za ceo planski period, a koji pri tome minimizira ukupne troškove.

Primena modela

Plan prodaje VetPlus Lypex proizvoda za 2016. godinu po kvartalima, u komadima iznosi $d = (15,\ 20,\ 19,\ 24)$. Lypex je proizvod koji preduzeće PlusPlus d.o.o. nabavlja od dobavljača Vet Plus iz Velike Britanije, a predstavlja dijetetski suplement i dodatak ishrani, koji se koristi za podršku rada digestivnog trakta i pankreasa kod pasa.

Fiksni troškovi pripreme narudžbine za ovaj proizvod iznose $5.000\ RSD$, dok troškovi držanja zaliha ovog proizvoda iznose 200 RSD po jedinici proizvoda.

Na osnovu navedenog:

$$d_1 = 15, \qquad d_2 = 20, \qquad d_3 = 19, \qquad d_4 = 24, \qquad K = 5.000, \qquad h = 20$$

Tabela 1: Podaci o tražnji i uslovima nabavke proizvoda VetPlus Lypex

Period, t	1	2	3	4
Tražnja datog perioda, d_t	15	20	19	24
Troškovi pripreme narudžbine, K	5.000	5.000	5.000	5.000
Troškovi držanja zaliha, h	200	200	200	200

Kako je ranije objašnjeno, polazi se od poslednjeg kvartala, odnosno od troška c_4, izračunavanjem troška optimalne politike od početka perioda četiri do kraja planskog perioda:

$$c_4 = c_5 + K = 0 + 5000 = 5000$$

Za nalaženje troška c_3 razmataju se dva slučaja. Naime, prvi put kada zalihe dostignu nulti nivo nakon perioda tri, može da se pojavi 1) na kraju trećeg perioda, što odgovara $j = 3$, odnosno trošku c_{33}, i 2) na kraju četvrtog perioda, odnosno $j = 4$, što odgovara trošku c_{34}.

$$\mathrm{c}_{33} = \mathrm{c}_4 + \mathrm{K} = 5.000 + 5.000 = 10.000$$

$$\mathrm{c}_{34} = \mathrm{c}_5 + \mathrm{K} + \mathrm{h} \times \mathrm{d}_4 = 0 + 5.000 + 200 \times 24 = 9.800$$

$$\mathrm{c}_3 = \min\{\mathrm{c}_{33}, \mathrm{c}_{34}\} = \min\{10.000, 9.800\} = 9.800$$

Politika zaliha povezana sa c_{33} podrazumeva nabavku koja pokriva tražnju samo perioda 3, a zatim optimalnu politiku za period 4, dok politika povezana sa c_{34}, podrazumeva nabavku za oba perioda, 3 i 4 odjednom, na početku perioda 3. Trošak c_3, vezan za ove dve politike, iznosi 10.000 RSD i 9.800 RSD, respektivno. Na osnovu ovoga se može zaključiti da u slučaju da nivo zaliha padne na nulu, na ulasku u period tri, nabavka količine zaliha koja pokriva potrebe za tražnjom perioda 3 i 4 predstavlja optimalnu politiku za ova dva perioda. Trošak c_3 predstavlja minimum opcija c_{33} i c_{34}.

Za nalaženje optimalne politike povezane sa c_2, razmatraju se tri slučaja, koja podrazumevaju da prvi put nakon perioda 2, zalihe dostižu nulti nivo 1) na kraju drugog perioda (trošak c_{22}), 2) na kraju trećeg perioda (trošak c_{23}) i 3) na kraju četvrtog perioda (trošak c_{24}). Trošak c_2 predstavlja minimum navedenih troškova.

$$\mathrm{c}_{22} = \mathrm{c}_3 + \mathrm{K} = 9.800 + 5000 = 14.800$$

$$\mathrm{c}_{23} = \mathrm{c}_4 + \mathrm{K} + \mathrm{h} \times \mathrm{d}_3 = 5.000 + 5.000 + 200 \times 19 = 13.800$$

$$\mathrm{c}_{24} = \mathrm{c}_5 + \mathrm{K} + \mathrm{h} \times \left(\mathrm{d}_3 + 2(\mathrm{d}_4)\right) = 0 + 5.000 + 200 \times \left(19 + 2(24)\right) = 18.400$$

$$\mathrm{c}_2 = \min\{\mathrm{c}_{22}, \mathrm{c}_{23}, \mathrm{c}_{24}\} = \min\{14.800, 13.800, 18.400\} = 13.800$$

Dobijeni rezultat znači da ako nivo zaliha padne na nulu na ulasku u period 2, nabavka bi trebala da pokrije tražnju perioda 2 i 3.

Zatim, za izračunavanje troška c_1, potrebno je razmotriti sledeća četiri slučaja:

$$\mathrm{c}_{11} = \mathrm{c}_2 + \mathrm{K} = 13.800 + 5.000 = 18.800$$

$$\mathrm{c}_{12} = \mathrm{c}_3 + \mathrm{K} + \mathrm{h} \times \mathrm{d}_2 = 9.800 + 5.000 + 200 \times 20 = 18.800$$

$$\mathrm{c}_{13} = \mathrm{c}_4 + \mathrm{K} + \mathrm{h}(\mathrm{d}_2 + 2(\mathrm{d}_3) = 5.000 + 5.000 + 200\left(20 + 2(19)\right) = 21.600$$

$$\mathrm{c}_{14} = \mathrm{c}_5 + \mathrm{K} + \mathrm{h}(3\mathrm{d}_4 + 2(\mathrm{d}_3) + \mathrm{d}_2) = 0 + 5.000 + 200\left(3(24) + 2(19) + (20)\right) = 31.000$$

$$\mathrm{c}_1 = \min\{\mathrm{c}_{11}, \mathrm{c}_{12}, \mathrm{c}_{13}, \mathrm{c}_{14}\} = \min\{18.800, 18.800, 21.600, 31.000\} = 18.800$$

Primećuje se da postoji jednakost troškova c_{11} i c_{12}, koji ujedno predstavljaju minimum troška c_1, što znači da u posmatranom primeru postoje dve optimalne politike zaliha:

1) da se na početku perioda 1 nabavi potrebna količina zaliha koja zadovoljava tražnju samo tog perioda, a zatim da se na početku perioda 2 nabavi potrebna količina zaliha koja zadovoljava tražnju perioda 2 i 3. Pošto su na početku perioda 4, zalihe ponovo jednake nuli, na početku ovog perioda je potrebno nabaviti količinu zaliha koja zadovoljava tražnju koja se u njemu pojavljuje.

2) da se na početku perioda 1 nabavi potrebna količina zaliha koja će zadovoljiti tražnju perioda 1 i 2, a zatim da se na početku perioda 3 nabavi potrebna količina zaliha koja pokriva tražnju perioda 3 i 4.

U oba slučaja, ukupni troškovi zaliha će iznositi 18.000 RSD.

Respektivno, ova dva optimalna plana zaliha podrazumevaju:

1) da se na početku prvog perioda nabavi 15 komada proizvoda, na početku drugog perioda ukupno 39 komada, i na početku četvrtog perioda 24 komada proizvoda.

2) da se na početku prvog perioda nabavi ukupno 35, a na početku trećeg ukupno 43 komada proizvoda.

Tabela 2: Prikaz rezultata primene Wagner-Whitin algoritma upravljanja zalihama VetPlus Lypex proizvoda

c_{tj}	*j*	*1*	*2*	*3*	*4*	*MIN*
t						
1		18,800	18,800	21,600	31,000	18,800
2			14,800	13,800	18,400	13,800
3				10,000	9,800	9,800
4					5,000	5,000

Prilikom primene algoritma, korišćen je POM-QM je softver koji ima sve češću primenu u proizvodno/operativnom menadžmentu, kvantitativnim metodama, naučnom upravljanju i operacionim istraživanjima.

3. WEGELMANS – HOESEL – KOLEN ALGORITAM

Postavka algoritma

Kao i Wagner-Whithin, Wegelmans – Hoesel – Kolen (WHK) algoritam nalazi optimalan plan nabavke, polazeći od poslednjeg intervala prema sadašnjem trenutku.

Radi pojednostavljenja analize, pretpostavlja se da je $d_t > 0$ za svako t, $t = 1, \ldots, T$. Z_t predstavlja trošak optimalne politike tokom perioda T, sačinjenog od t, kada je $x_t = 0$. Takođe, definiše se da je $Z_{T+1} = 0$, odnosno da ne postoje zalihe na kraju planskog perioda.

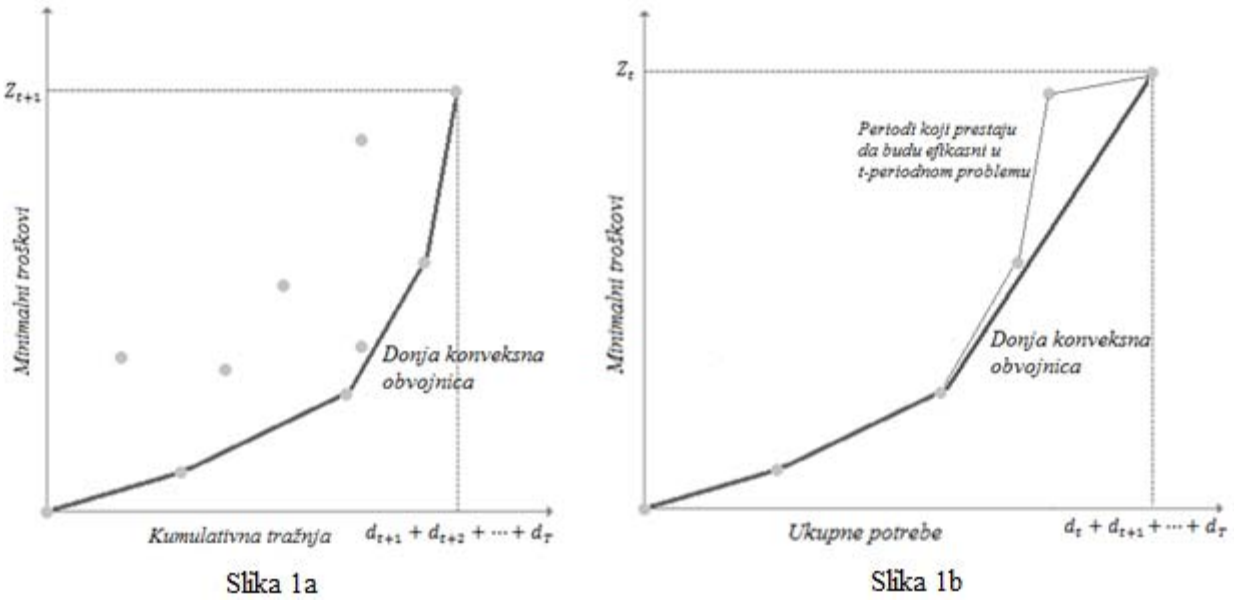
Pošto $z_t \in \{d_t, d_t + d_{t+1}, \ldots, \sum_{i=t}^{T} d_i\}$ i $z_t > 0$ samo kada je $x_t = 0$,

$$Z_t = min_{t<s\leq T+1}\{K_t + f_t \sum_{j=t}^{s-1} d_j + Z_s\}, \qquad t = 1, \ldots, T. \tag{8}$$

Razlika sprovođenja WHK algoritma, u donosu na WW, ogleda se u korišćenju efikasnih perioda. Efikasan period se definiše kao onaj period u kom je moguće izvršiti nabavku, a da ukupni troškovi nabavke i skladištenja budu minimalni.

Na slici 1a, prikazano je određivanje efikasnih perioda grafički. Uz pretpostavku da su Z_{t+1}, $Z_{t+2}, \ldots, Z_T$ poznati, ove vrednosti se označavaju na grafikonu (y osa), nasuprot kumulativnim tražnjama izračunatim postupkom unazad (x osa). Dakle, na grafikonu se označavaju tačke:

$$(0,0) = (0, Z_{T+1}), (d_T, Z_T), (d_T + d_{T-1}, Z_{T-1}), \ldots, (d_T + d_{T-1} + \ldots +, d_{t+1}, Z_{t+1}). \tag{9}$$



Slika 1a: optimalni troškovi nabavke i skladištenja, kao funkcija ukupnih potreba, pri izračunavanju unazad; **Slika 1b:** eliminacija nekih efikasnih perioda nakon uključivanja perioda t

Najjednostavnije rečeno, efikasni periodi predstavljaju tačke na grafikonu koje se nalaze na donjoj konveksnoj obvojnici, koja predstavlja izlomljenu liniju koja spaja koordinatni početak i tačku koja predstavlja maksimalnu ukupnu tražnju u posmatranom periodu, i koja stalno povećava svoj nagib. Posledično, između ove linije i apscise, ne može da se nađe nijedna tačka/nabavka.

Pod pretpostavkom da su pronađeni efikasni periodi, i da je sa s_t označena optimalna vrednost za s u jednačini (8), s_t predstavlja sledeći period u kom će biti izvršena narudžbina nakon perioda t. Pošto je nagib između dva uzastopna efikasna perioda k i l, gde je $k < l$, rastući, gledano sa leva u desno (kao što se može videti na slici 1b, vrednost s_t u jednačini (8), je jednaka najmanjem efikasnom periodu k tako da:

$$\frac{Z_k - Z_l}{d_k + d_{k+1} + \ldots + d_{l-1}} > \sum_{j=t}^{T} h_j = f_t. \tag{10}$$

s_t time predstavlja levu krajnju tačku poslednjeg segmenta (posmatrajući s leva na desno) u donjoj konveksnoj obvojnici čiji je nagib veći od f_t. Uz poznatu vrednost s_t, može da se izračuna vrednost Z_t.

Za pronalaženje efikasnih perioda za t-periodni problem, dovoljno je uzeti u razmatranje podskup efikasnih perioda za $(\mathrm{t}+1)$ – periodni problem. Polazi se od toga da je za t-periodni problem, t svakako efikasan period. Kako se ide od problema koji počinje u $(\mathrm{t}+1)$ do problema koji počinje u t, samo određeni broj uzastopnih perioda koji se nalaze u okolini perioda t prestaju da budu efikasni. Grafički, ukoliko se na slici 1b doda još jedna tačka $(d_t + d_{t+1} + \ldots + d_T, Z_t)$, i u tom slučaju, uključivanjem perioda t, neke tačke koje su na slici 1a pripadale donjoj konveksnoj obvojnici, više ne pripadaju, odnosno, ove tačke prestaju da budu efikasni periodi. Takođe je moguće i da svi periodi koji su efikasni u $(t+1)$-periodnom problemu nastavljaju da budu efikasni i za t-periodni problem.

Ukoliko se pretpostavi da je t_r najmanji period tako da je:

$$\frac{Z_t - Z_{t_r}}{d_t + d_{t+1} + \ldots + d_{t_r - 1}} > \frac{Z_{t_r} - Z_{t_{r+1}}}{d_{t_r} + d_{t_r+1} + \ldots + d_{t_{r+1}-1}}, \tag{11}$$

onda periodi $t_1, t_2, \ldots, t_{r-1}$ prestaju da budu efikasni kako se posmatra od $(t+1)$-periodnog problema, do t-periodnog problema. Ako gornja nejednakost važi za t_1, onda su svi efikasni periodi $(t+1)$ periodnog problema efikasni periodi i za t-periodni problem. Druga važna činjenica je da je $t_r \leq s_{t+1}$ čime se smanjuje broj efiksanih perioda koje treba uzeti u razmatranje za određivanje t_r.

U postupku pronalaženja optimalnog plana nabavke, u svakoj od T iteracija izračunava se $Z_t, t = 1, \ldots, T$. Vrednost Z_t se izračunava u iteraciji $T - t + 1$, pošto je algoritam započet sa $t = T$. S predstavlja listu narudžbina efikasnih perioda nakon izvršavanja $T - t + 1$ iteracije.

Vrednost t_r koja zadovoljava nejednakost (11) se pronalazi razmatranjem liste efikasnih perioda S, što se može postići u porudžbini $logT$. U svakoj od iteracija, neki periodi će možda morati da se isključe iz S, jer više ne predstavljaju efikasne periode. Svaki period može biti isključen iz podskupa efikasnih perioda samo jednom, odnosno, kada se period jednom isključi iz efikasnih perioda, on neće biti period na početku kog će se izvršiti narudžbina u optimalnom rasporedu nabavke za ceo planski period. Takođe, pri svakom upoređivanju u iteraciji, ili se zaključuje da je t_r pronađeno, ili se prelazi na sledeći period koji se nalazi na listi narudžbina S i postupak se nastavlja. Svako od ovih izračunavanja je potrebno izvršiti za svaki od T perioda u celokupnom planskom periodu. Iz navedenog, zaključuje se da je kompleksnost povezana sa izračunavanjem Z_1, narudžbine izračunate u $TlogT$.

Primena algoritma

Radi poređenja kompleksnosti i rezultata primene modela, WHK algoritam za optimizaciju nabavke zaliha se u nastavku razmatra na ranije predstavljenom problemu upravljanja zalihama VetPlus Lypex proizvoda.

1) Razmatraju se moguće vrednosti $S = \{4, 5\}$; posmatra se period $t = 4$.

Kao što je već navedeno, zalihe na kraju posmatranog planskog perioda su jednake nuli, stoga:

$$s_4 = 5, Z_5 = 0$$

Ukupni troškovi za period 4 iznose:

$$Z_4 = 5000 + 200 \times 24 = 9.800$$

2) Zatim se prelazi na posmatranje perioda $t = 3$, i pošto je $t > 0$, može se preći na sledeći korak.

Moguće vrednosti za s_3 su 4 ili 5. U slučaju $s_3 = 4$, onda će poružbina od d_3 jedinica proizvoda biti poručena za period 3, a narudžbina od d_4 jedinica proizvoda za period 4. U suprotnom slučaju $(s_3 = 5)$, biće izvršena narudžbina od $d_3 + d_4$ jedinica proizvoda, na početku perioda 3.

Za $k = 4$

$$\frac{Z_4 - Z_5}{d_4} = \frac{9.800}{24} = 408{,}33 > 400 = (4 - 3 + 1)200 = (T - t + 1)h$$

$$Z_3 = K + (T - t + 1)\, h(d_3 + d_4) = 5.000 + (4 - 3 + 1)\, 200\, (19 + 24) = 22.200$$

Zaključuje se da je $s_3 = 5$, i ovime se period 4 isključuje iz podskupa efikasnih perioda, odnosno, u periodu 4 ne treba izvršiti porudžbinu. Dakle, sada je $S = \{3, 5\}$.

3) Posmatra se period $t = 2,\ t > 0$; $s_2 = \{3,5\}$. Za $k = 3$

$$\frac{Z_3 - Z_5}{d_3 + d_4} = \frac{22.200}{19+24} = 516{,}28 < 600 = (4 - 2 + 1)200 = (T - t + 1)h$$

$$Z_2 = K + (T - t + 1)\ h\ d_2 + Z_3 = 5.000 + (4 - 2 + 1)\ 200\ (20) + 22.200 = 39.200$$

Zaključuje se da je $s_2 = 3$, odnosno, period 3 jeste efikasan, i u ovom periodu bi trebalo izvršiti porudžbinu koja bi trebalo da zadovolji tražnju perioda 3 i 4. U nastavku se posmatra podskup $S = \{2, 3, 5\}$.

4) Posmatra se period $t = 1,\ t > 0$; $s_1 = \{2,3\}$. Za $k = 2$

$$\frac{Z_2 - Z_3}{d_2} = \frac{39.200 - 22.200}{20} = 850 > 800 = (4 - 1 + 1)200 = (T - t + 1)h$$

Ovim se period 2 isključuje is skupa efikasnih perioda optimalnog plana nabavke, što znači da bi na početku perioda 1 trebalo naručiti dovoljnu količinu zaliha koja bi trebala do pokrije tražnju perioda 1 i 2.

$$Z_1 = K + (T - t + 1)\ h\ (\ d_1 +\ d_2) + Z_3 = 5.000 + (4 - 1 + 1)\ 200\ (15 + 20) + 22.200 = 55.200$$

Optimalan plan nabavke dobijen korišćenjem WHK algoritma podrazumeva nabavku na početku perioda 1, količine koja je potrebna da zadovolji tražnju perioda 1 i 2, i nabavku na početku perioda 3, količine koja je potrebna da zadovolji tražnju perioda 3 i 4. Ovakav (optimalan) plan nabavke se podudara sa drugim navedenim optimalnim planom nabavke dobijenim korišćenjem Wagner-Whitin algoritma.

4. ZAKLJUČAK

Na primeru proizvoda VetPlus Lypex, primenom algoritama Wagner-Whitin i Wegelmans – Hoesel – Kolen (WHK), utvrđene su količine nabavki koje dovode do značajnih ušteda u troškovima, spajanjem tražnje više perioda u jedinstvene narudžbine. Posmatrajući dobijene optimalne rezultate, utvrđuje se jednakost planova nabavke korišćenjem ova dva algoritma. Međutim, posmatrajući postupak dobijanja optimalnih rezultata, donosi se zaključak o povećanju efikasnosti u primeni WHK modela, u odnosu na WW. Ovo je upravo zbog korišćenja efikasnih perioda, čime se smanjenjuje broj perioda koji se uzimaju u razmatranje za pronalaženje optimalnog plana zaliha. Naime, dok WW algoritam može da zahteva broj izračunavanja koji je proporcionalan T^2, gde T predstavlja posmatrani broj intervala, WHK algoritam zahteva $T\log(T)$ izračunavanja, što samim tim ovaj model čini efikasnijim za pronalaženje optimalnog rešenja. Stoga se i u praksi češće preporučuje korišćenje ovog modela.

Međutim, na primeru je primena WW algoritma za rezultat dala dva optimalna plana naručivanja, koji imaju jednake (minimalne) troškove naručivanja. Ovo preduzeću pruža izbor između ova dva (optimalna) plana, usklađivanjem nabavke sa ostalim tokovima poslovanja, kao što je trenutni i predviđeni novčani tok.

Druga, važna razlika između ova dva modela, može se uočiti poređenjem iznosa krajnjih troškova optimalnih planova, dobijenih korišćenjem ova dva algoritma. Ovo je zato što ovi algoritmi ne daju naglasak na dobijene vrednosti, već na optimalne planove, odnosno rasporede nabavke po posmatranim periodima, u okviru celokupnog planskog perioda. Ono što određuje optimalna rešenja jesu marginalni troškovi, a ne ukupne vrednosti. Dodavanjem istih iznosa svim marginalnim troškovima pomera se vrednost funkcije svih mogućih rešenja za isti iznos.

Opšti zaključak je da optimalna politika zaliha podrazumeva pojavu nove narudžbine samo kada je nivo zaliha jednak nuli. Upravo, iako se minimiziranje troškova ostvaruje prispećem nove narudžbine kada se zalihe izjednače sa nulom, u praksi je ovo teško ostvarivo. Svakako, predstavljeni modeli postavljaju dobre osnove za nadogradnju modela, ali je takođe moguće i njihovo kombinovanje sa drugim modelima u svrhu optimiziranja plana nabavke.

LITERATURA

[1] Graves, S. C., Rinnooy, K. (2005) Logistics of Production and Inventory, Oxford, UK, Elsevier Ltd, 18

[2] Muckstadt, J. A., Sapra, A. (2010) Principles of Inventory Management: When You Are Down to Four, Order More, Ithaca, USA: Springer, 87 - 100

[3] Hillier, F; Lieberman, G. (2001) Introduction to Operations Research, New York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 951 – 953

[4] Wagelmans, A., Van Hoesel, S. (1990) Economic Lot Sizing: An O(n log n) Algorithm That Runs in Linear Time in the Wagner-Whitin Case, Rotterdam, The Netherlands: Erasmus University, 146

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

OKVIR ZA ANALIZU SISTEMA ZA MERENJE PERFORMANSI LANACA SNABDEVANJA

FRAMEWORK ANALYSIS OF SUPPLY CHAIN PERFORMANCE MEASUREMENT SYSTEMS

ZORICA MITROVIĆ[1], MIRKO VUJOŠEVIĆ[2], MARIJA TODOROVIĆ[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, zorica.mitrovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, vujosevic.mirko@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, todorovic.marija@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Cilj rada je da prikaže sistematičan pregled literature na temu sistema za merenje performansi lanaca snabdevanja i da predloži okvir za analizu koji će omogućiti kritičko sagledavanje posmatranih lanaca snabdevanja. U radu je ukazano na izazove analize literature u ovoj oblasti, sagledana je problematika definisanja pojma sistema za merenje performansi lanaca snabdevanja. Zatim, prikazan je pregled literature u vezi najčešće korišćenih okvira za analizu sistema za merenje performansi lanaca snabdevanja i izvršena je analiza prednosti i nedostataka istih. Na kraju su prikazani ključni nalazi i predlozi za dalja istraživanja u oblasti sistema za merenje performansi lanaca snabdevanja.*

Ključne reči: *Upravljanje lancima snabdevanja, merenje performansi, SCOR model, Balanced Scorecard, metod analize okvira.*

Abstract: *The aim of this paper is to provide a systematic literature review on Supply Chain Performance Measurement Systems and to propose a framework method for critical analysis of supply chains. The paper highlights main challenges of literature review in this field and identifies problems in finding the right definition of the concept of Supply Chain Performance Measurement System. Further, the literature review on the most frequently used frameworks for analyzing the Supply Chain Performance Measurement System is presented, and advantages and disadvantages of different concepts are identified. Finally, the key findings and recommendations for further research in the field are presented.*

Keywords: *Supply Chain Management Systems, Performance Measurement, SCOR model, Balanced Scorecard, Framework analysis method.*

1. UVOD

Upravljanje lancem snabdevanja se definiše kao sistematična, strateška koordinacija tradicionalnih poslovnih funkcija i taktika u okviru određene firme i istih poslovnih funkcija kroz firme iz različitih oblasti poslovanja u okviru lanca snabdevanja, sa svrhom unapređenja dugoročnih performansi pojedinačnih firmi i lanaca snabdevanja kao celine (Mentzer, et al. 2001). Upravljanje lancem snabdevanja obuhvata širok spektar aktivnosti, od strateškog preko taktičkog do operativnog nivoa. U tom smislu teži unapređenju performansi kroz efektivno korišćenje resursa i sposobnosti putem razvoja internih i eksternih veza, kreirajući koordinirane lance snabdevanja (Maestrinia, et al. 2017). Kao rezultat, upravljanje lancem snabdevanja sve više postaje alat za kontinualno unapređenje performansi koji korste mnoge korporacije u tržišnoj utakmici (Cho, et al. 2012).

Analizom nalaza istraživanja u ovoj oblasti identifikovano je par vrlo bitnih izazova. Kao prvo, tradicionalni sitemi za merenje performansi su kreirani za potrebe jedne firme, dok sistemi za merenje performansi lanaca snabdevanja predstavljaju kompleksne sisteme koji se suočavaju sa izazovima integracije i deljenja podataka između više firmi. Proces merenja performansi u slučaju lanca snabdevanja zahteva značajnu koordinaciju unutar i van firme. U velikom broju slučajeva, iz različitih razloga firme nisu spremne da dele informacije, tako da se empirijska istraživanja na ovu temu uglavnom zasnivaju na studijama slučaja pojedinih lanaca snabdevanja ili na radovima sa malim uzorkom.

Kao drugo, određeni broj autora zastupa stav da su sistemi za merenje performansi lanaca snabdevanja i dalje nedovoljno definisana tema, kao i da je literatura fragmentisana i nezavršena (Maestrinia, et al. 2017).

Jedan od razloga koji navode prethodni autori je da se obuhvat upravljanja lancima snabdevanja razvijao u prethodne dve decenije, od sinonima sa logistikom do spajanja primarnih i aktivnosti podrške, od kupovine do operacionog menadžmenta, logistike i transporta, distribucije i prodaje, upravljanja odnosima i informacionim tehnologijama (Chow, et al. 1994). Kao posledica, autori iz različitih disciplina poput operacionog menadžmenta, informacionog menadžmenta i računovodstva su u istraživanjima usvajali različite nazive i na ovaj način uticali na rast konzistentnog toka literature.

Na kraju, uglavnom su delovi sistema merenja performansi lanaca snabdevanja, poput evaluacije sistema prodavaca, merenje odnosa kupac-dovaljač ili ocena performansi u okviru firme, bili predmet istraživanja različitih autora (Maestrinia, et al. 2017). Obuhvatajući samo jedan deo lanca snabdevanja, poput dobavljača, kupaca i internih aktivnosti lanca snabdevanja, odnosno merenja eksterne sposobnosti partnera u lancu snabdevanja, samih procesa lanca snabdevanja i odnosa u okviru istog su uticali da pregled literature ne uspeva da pruži sveobuhvatnu sliku stanja.

2. DEFINICIJA SISTEMA ZA MERENJE PERFORMANSI LANACA SNABDEVANJA

Sistem za merenje performansi lanca snabdevanja je uglavnim korišćen kao široko definisan koncept, koji je obuhvatao heterogenu literaturu na temu procesa merenja performansi ali različitih elemenata lanca snabdevanja. Na primer, autori su se odvojeno bavili temama merenja performansi aktivnosti lanca snabdevanja unutar firme i merenja performansi eksternih partnera i odnosa sa njima. Kao posledica, pregled literature na temu sistemi merenja performansi lanca snabdevanja je rezultuovao definicijama koje su uglavnom bile vezane za pojedine delove, ali ne i za čitav lanac snabdevanja. Za definisanje pojma i obuhvata sistema merenja performansi lanaca snabdevanja trebalo bi integrisati saznanja na temu merenja performansi i upravljanja lancima snabdevanja, kao i razmotriti ciljeve uvođenja prakse merenja performansi lanca snabdevanja u filozofiju upravljanja lancem snadevanja.

Sistem za merenje performansi je najčešće definisan kao“set mera korišćen za kvantifikaciju efikasnosti i efektivnosti akcija” (Neely, Mike and Platts 1995), sa ciljem podrške implementacije strategije na različitim nivoima (Kaplan and Norton, 1992). Kaplan and Norton (1992) navode “Šta meriš to ćeš i dobiti”, uvodeći merenje perfromansi kao ključni element za uspešnu implemetaciju strategije. Radovi koji se bave istraživanjem na temu merenja performansi zasnovani su na pretpodstavci da se sistem definiše u okviru granica jedne firme. Međutm, kao menadžment filozofija, upravljanje lancem snabdevanja uzima sistemski pristup u posmatranju lanca snabdevanja kao jedan entitet, pre nego set fragmentisanih delova, koji svako za sebe obavlja svoju funkciju (Tyndall, et al. 1998). Drugim rečima, filozofija upravljanja lancem snabdevanja širi koncept partnerstva na napore više firmi da upravljaju ukupnim tokom dobara od dobavljača da krajnjeg kupca. Prema tome, upravljanje lancem snabdevanja je sistem vrednosti da će svaka firma u lancu snabdevanja direktno ili indirektno uticati na performanse svih drugih članova u lancu snabdevanja, kao i na kraju na performanse celog lanca snabdevanja (Cooper 1997). Može se zaključiti da upravljanje lancem snabdevanja kao menadžment filozofija teži sinhronizaciji i konvergenciji unutar i van firme operativnih i strateških sposobnosti u ujedinjenu, veliku tržišnu snagu (Ross 1998).

Dakle, za potrebe definisanja sistema merenja performansi lanaca snabdevanja trebalo bi obuhvatiti procese i odnose koji uključuju više aktera u lancu snabdevanja i na taj način proširiti definiciju sistema merenja na elemente koji su van granica jedne firme. Naravno, najveći izazov da se kreira sistem koji će ovuhvatiti veći broj aktera u lancu snabdevanja je koodinisanje aktivnosti u okviru ovog sistema, a sve u cilju kreiranje sistema merenja performansi koji će biti koristan svim akterima i omogućiti im da ispune svoju misiju kao deo lanca snabdevanja. U skladu sa prethodno navedenim Mentzer (2001) identifikuje niz aktivnosti i procesa koji su neophodni za uspešnu implementaciju upravljanja lancem snabdevanja kao filozofije, i to integrisano ponašanje, deljenje informacija, kooperacija, ISTI CILJ i isti fokus, integracija procesa, građenje dugoročnih partnerskih odnosa. Prevazilazeći izazove koji su identifikovani u vezi kreiranja sistema za merenje performansi za više firmi uzimajući u obzir filozofiju lanaca snabdevanja može se zaključiti da je cilj uvođenja sistema merenja performansi lanca snabdevanja da pruži podršku u implamentaciji stretgije i ispuni ciljeve lanca snabdevanja.

Sistem za merenje performansi lanca snabdevanja se može definisati kao set metrika korišćenih za kvantifikaciju efikasnosti i efektivnosti procesa i odnosa u oviru lanaca snabdevanja, obuhvatajući više organizacionih funkcija i više firmi, omogućavajućiupravljanje lancem snabdevanja (Maestrinia, et al. 2017). Glavni zadatak merenja performansi je da se pruže važne informacije koje omogućavaju kompanijama da unaprede aspekt zadovoljavanja zahteva kupaca i dostignu stratške ciljeve kompanije (Chan & Qi, 2003).

3. SISTEMI ZA MERENJE PERFORMANSI LANACA SNABDEVANJA

Literatura iz oblasti sistema merenja performansi lanaca snabdevanja se praktično razvija poslednje dve decenije. Doprinose autora možemo podeliti u dve velike grupe, teorijske radove koji analiziraju konceptualne okvire i modele za merenje performansi i empirijske studije koje su uglavnom zasnovane na studijama slučaja i ređe na anketama. Većina doprinosa se odnosi na fazu dizajna sistema, u kojoj se vrši proces izbora i klasifikacije metrika. Dok su najčešće korišćeni koncepti za dizajn sistema merenja performansi lanaca snabdevanja *Balanced Scorecard* (BSC) i SCOR model.

3.1. Balanced Scorecard

Iako prvobitno razvijen za primenu u granicama jedne firme, BSC je zbog svoje popularnosti ubrzo postao koncept čija se primena zagovarala na nivou čitavih lanaca snabdevanja. Kaplan i Norton (1992) su definisali BSC kao moćan sistem strateškog upravljanja koji omogućava implementaciju strategije, korišćenjem balansiranog skupa mera kako bi se osigurala realizacija vizije i uspešna implementacija strategije. Razlog brzo rastuće globalne popularnosti BSC-a se pripisivao novoj postavci skupa mera, koja pored tradicionalnih fiansijskih mere dodaje i nefinansijske poput mera koje se odnose na kupce, interne procese i aktivnosti organizacionog učenja i razvoja. Na ovaj način BSC pomaže senior menadžerima da pojasne i operacionalizuju viziju i strategiju organizacije, fokusirajući menadžersku pažnju na nekoliko bitnih indikatora sadašnjih i budućih performansi.

U kontekstu lanca snabdevanja, organizacije predstavljaju komponente lanca, a uspeh zavisi od toga kako se takmiče i sarađuju u okviru kompleksne mereže međusobno isprepletanih organizacionih odnosa. Prema tome, merenje performansi organizacija u lancu snabdevanja bi trebalo da bude razmatrano holistički, naročito uzimajući u obzir da se lanci snabdevanja takmiče sa drugim lancima snabdevanja.

Različiti autori su koncept BSC-a koristili kao metodološki okvir za ispitivanje šta se meri, kako se merenje performansi percipira u lancu snbdevanjai u kojoj meri su primenjeni sistemi merenja performansi zasnovani na balansiranom pristupu. Kao rezultat može se primetiti da je primena ovog pristupa u lancu snabdevanja imala različita tumačenja. Brewer i Speh (2000) i Kleijnen i (Smits 2003) su bili među prvima koji su pokušali da izvrše transfer široko primenjenih pristupa za merenje performansi, kao što je BSC sa nivoa korporacije na nivo mreže. Promena u filozofiji koja nastaje sa uvođenjem lanca vrednosti kao tačke gledišta je promena okvira BSC i to interne perspektive koja se širi i obuhvata interfunkcionalne i partnerske perspektive. Drugim rečima, BSC koji se ovde zagovara integriše mere, ne isključujući neintegrisane mere, koje motivišu zaposlene da posmatraju uspeh firme, ne kao firme same za sebe, već kao zavisne od uspeha čitavog lanca snabdevanja, čiji su oni deo (Brewer and Speh 2000). Za unapređenje procesa dizajna sistema merenja performansi lanca snabdevanja, Kleijnen i Smits (2003) su predlagali uvođenja različitih vrsta simulacija sa idejom kreiranja pre fleksibilnog i robusnog sistema, nego optimalnog. Dalje, Park, Lee i Yoo (2005) su konstatovali da odabrane mere uglavnom nisu identifikovale karakteristike industrije, proizvoda i proizvodne strategije. Stoga Park, Lee i Yoo (2005) predlažu okvir BSC za lanac snabdevanaj koji uzima u obzir karakteristike proizvoda. Dalje, Bhagwat i Sharma (2007) su koristili BSC kao okvir za merenje i evaluaciju performansi malih i srednjih preduzeća koji učestvuju u lancu snabdevanja. Zasnovano na ekonomskoj teoriji vrednosti, Barber (2008) diskutuje da je BSC alat koji omogućava strateško usklađivanje na nivou lanca, a sve u cilju maksimiziranja vrednosti na nivou čitavog lanca snabdevanja. Prema ovom autoru, u kreiranju sistema merenja performansi trebalo bi zastupati balansiran pristup uzimajući u obzir delove lanca vrednosti koji kreiraju vrednost u lancu snabdevanja. Pritom, vrednost može biti opipljiva i neopipljiva oblast lanca snabdevanja, a najuspešnije se kreira putem kolaborativnog partnerstva koje prepoznaje sve obasti sa doprinosom uključujući procese, procedure, informacije i finansijske veze, upravljanje znanjem, inovacije, strategije, promene i odnose.

Chia, Mark i Hum (2009) su dali praktičan i teorijski doprinos sprovodeći empirijsko istraživanje načina na koji senior menadžeri u lancu snabdevanja mere i percipiraju merenje performansi. Istraživanje je bilo pokušaj da se ocene perspektive i reakcije različitih stejkholdera u lancu snabdevanja u vezi performasi firme koje koriste BSC pristup. Jedan od zaključaka istraživanja jeste da se iste BSC perspektive mogu primeniti u čitavom lancu, ali na različitim entitetima u okviru istog lanca.

Jedan od najkomplikovanijih problema odlučivanja za menadžere je evaluacija performansi lanca snabdevanja koja uključuje različite kriterijume. Shafiee, Lotfi i Saleh (2014) su sproveli zanimljivo istraživanje, tako što su prvo prvo odredili sve odnose zmeđu četiri perspektiva BSC, a zatim primenili DEMATEL pristup kako bi dobili mrežnu strukturu. Ova mrežna struktura je potom bila korišćena za kreiranje mrežnog DEA modela, koji je bio upotrebljen za evaluacije efikasnosti sistema merenja performansi lanca snabdevanja.

3.2. SCOR model

Referentni model operacija lanca snabdevanja SCOR (Supply Chain Operations reference model) omogućava sistemski pristup za identifikaciju, evaluaciju i praćenje performansi lanca snabdevanja. Razvijen je od strane Saveta za lance snbadevanja – SCC (Supply Chain Council), neprofitne organizacije, kao de facto standardni dijagnostički alat za upravljanje lancem snabdevanja.

Osnovni cilj modela je da se opiše, analizira i evaluiralanac snabdevanja. Ideja iza modela je da se svaka kompanija ili lanac snabdevanja može opisati nekim osnovnim procesima. SCOR omogućava korisnicima da se bave, unapređuju i komuniciraju prakse lanca snabdevanja u i između svih zainteresovanih strana u proširenom preduzeću. SCOR pruža standard za definiciju, terminologiju i metrike za poslovne procese. Omogućava benchmark između sebe i u odnosu na druge i utiče na budući razvoj primene za unapređenje poslovnih procesa u pet funkcionalnih oblasti: planiranje, snabdevanje, izrada, isporuka i povraćaj. Obuhvata intra i inter organizacione procese. SCOR je upravljački alat, koji obuhvata učesnike od kupaca do snabdevača. Model je razvijen kako bi opisao poslovne aktivnosti povezane sa svim fazama zadovoljenja zahteva kupaca. Okvir može biti posmatran kao strateški alat za opis, komuniciranje, kontrolu implementacije i merenje složenih procesa lanca snabdevanja za postizanje dobrih performansi (Ganji Jamehshooran, Shaharoun and Haron 2015).

Pregled literature ukazuje na ogroman broj radova koji su istraživali razvoj i primenu koncepta SCOR modela. Između ostalih značajne doprinose su dali sledeći autori: (Huan, Sheoran and Wang 2004), (Berrah and Cliville´ 2007), (Gulledge and Chavusholu 2008), (Thakkar, Kanda and Deshmukh 2009), (Chae 2009), (Ganga and Carpinetti 2011), (Cho, et al. 2012), (Elgazzar, et al. 2012), (Sellitto, et al. 2015), (Oliveira, McCormack and Trkman 2012).

4. OVIR ZA ANALIZU SISTEMA ZA MERENJE PERFORMANSI LANACA SNBDEVANJA

U prethodnom pregledu literature analizirane su teorijske i empirijske studije u kojima su bili primenjeni Balanced Scorecard (BSC) i SCOR model. Mapiranjem sadržaja analiziranih studija identifikovani su nalazi koji će poslužiti za razvoj okvira za analizu sistem merenja performansi lanaca snabdevanja.

Prema životnom ciklusu sistemi se mogu podeliti u četiri faze, faza razvoja, implementacije, korišćenja i evaluacije. U tom smislu okvir za analizu sistema bi trebalo da bude prilagođen fazi razvoja u kojoj se nalazi sistem za merenje performansi.

Analizom nalaza studija koje su primenile Balanced Scorecard (BSC) i SCOR model za analizu i ocenu sistema za merenje peroformansi lanaca snabdevanja, može se zaključiti da su rezultati studija zasnovanih na SCOR modelu struktuirani, standardizovani, sadržajni i daju metodološki okvir koji je zahvalan za prilagođavanje i primenu u različitim industrijama.

Sa druge strane, nalazi studije koje su zasnovane na BSC pristupu su uglavnom nedovoljno informativni i uopšteni. Mere performanse, uglavnom nisu vezane za specifične industrije lanaca snabdevanja, dok su rezultati studija bez praktičnih implikacija, sem zaključka da bi trebalo primeniti više balansiran pristup.

Prema ulozi entitetna u lancu snabdevanja čiji se sistem za merenje performansi analizira razlikuju se sistemi koji se bave internim procesima, snabdevačima, kupcima i sistemi koji obuhvataju više nivoa kupce kupaca i snabdevače snabdevača. Ključan izazov kod analize ovakvih sistema je relevantnost izbora mera za pojedine entitete ne uzimajući u obzir ulogu koju imaju u ukupnim performansama lanca snabdevanja.

Prema upravljačkom nivou, sistemi za merenje performansi se mogu podeliti na sisteme definisane na strateškom, taktičkom i operativnom nivou. U ovom slučaju BSC i podela mera po upravljačkim nivoima je dala dobre rezultate.

Prema metrikama sisteme za merenje performansi možemo podeliti na one koji su koristili finansijske i nefinansisjke mere. Uglavnom korišćenje BSC pristupa omogućava da se definiše i evaluira usklađenost između broja finansijskih i nefinansijskih mera.

Bez obzira, koliko su dobro izabrane mere u fazi dizajna, to ne garantuje uspeh sistema merenja performansi u fazi implementacije. Studije u vezi internih sistema pokazuju da se problemi mogu desiti zbog loše implementacije, neprikladne primene ili nedostatka procesa revizije. Sa druge strane, studije koje su uključile eksterne partnere u lancu snabdevanja, identifikuju da je podrška pouzdanog upravljanja informacionim sistem u fazi implementacije kritična s obzirom na potrebu interakcije između eksternih partnera lanaca snabdevanja za prikupljanje podataka i za izveštavanje o merenu performansi. Najčešće identifikovane barijere su dostupnost podataka, visoke investicije vezane za sisteme merenje performansi lanaca snabdevanja i kompleksnost lanca snabdevanja.

Na kraju, identifikoano je da se određeni broj radova teorijski bavi problematikom usklađenosti između sistema merenja performansi lanaca i strategije lanca snabdevanja.

Na osnovu prethodno identifikovanih nalaza cilj ovog rada je da se predloži i stavi na razmatranje jedan metodološki okvir za analizu sistema merenja performansi lanaca snabdevanja, koji će omogućiti

istraživačima da na sistematičan način pristupe problematici. Iako postoje empirijske studije, nedostaje metodološki okvir za analizu kojim bi se omogućila komparativna analiza sadržaja studija studija. U tom smislu bi predloženi okvir imao primenu i u analizi već postojećih empirijskih studija.

Ključni elementi okvira za analizu sistema za merenje performansi koji se u ovom radu predlaže su odgovori na pitanja:

- U kojoj fazi životnog cilkusa se nalazi sistem za merenje performansi?
- Koji učesnici lanca snabdevanja su uključeni u sistemu za merenje performansi?
- Koje procese obavljaju analizirani učesnici prema SCOR modelu?
- Koje mere performansi se koriste u sistemu za merenje performansi?
- U kojoj meri postoji balans između finansijskih i nefinansijskih mera prema BSC pristupu?
- U kojoj meri su mere performansi definisane za različite upravljačke nivoe?
- U kojoj meri postoji usklađenost mera performansi sa strategijom lanca snabdevanja?
- U kojoj meri su zastupljene mere performansi za sve procese prema SCOR modelu?
- U kojoj meri su odabrane mere performansi specifične za industriju u kojoj posluje lanac snabdevanja?

Predloženi skup pitanja je tek prvi korak u analizi okvira, koji bi omogućio kodifikaciju postojećih kvalitativnih nalaza. Sledeći korak bi bila komparativna analiza i tumačenje nalaza. Poslednji korak bi zahtevao predloge za unapređenje.

5. ZAKLJUČAK

Promene na tržištu su uslovile da se tržišna utakmica sa borbe između kompanija prenese na borbu između lanaca snabdevanja. U ovakvoj postavci, merenje performansi koje je i inače predstavljalo izazov za pojedinačne kompanije, sada postaje još složeniji zahtev, koji će usloviti uspešno upravljanje lancima snabdevanja.

Postojeća istraživanja u ovoj oblasti su zasnovana na pitanjima šta u stvari sistem za merenje performansi lanca snabdevanja znači i šta je poznato od teorijskih koncepata i primene ovakvih sistema u praksi. U skladu sa tim, rad je struktuiran da odgovori na ova pitanja.

Kao prvo, postoje različite definicije pojma sistem za merenje performansi lanca snabdevanja, ali uglavnom fokus je bio na pojedinačnim elementima lanca. Tek nekoliko autora, od kojih se (Mentzer, et al. 2001) može izdvojiti kao najznačajniji, dali su sveobuhvatnu definiciju sistema.

Zatim, u radu je dat prikaz pregleda literature u ovoj oblasti, struktuiran tako da prikaže najčešće korišćene koncepte. Dva najznačajnija koncepta koja se koriste u fazi dizajna sistema merenja performansi su Balanced Scorecard i SCOR model.

Može se primetiti da su radovi zasnovani na SCOR modelu kako u teorijskom, tako i u praktičnom smislu značajniji za buduća istraživanja, daju metodološki okvir koji je zahvalan za prilagođavanje. SCOR model više odgovara primeni u različitim industrijama, omogućavajući da se specifične mere performansi za odgovarajuće industrije inkorporiraju u sistem merenja.

Sa druge strane, studije slučaja zasnovane na BSC pristupu su uglavnom nedovoljno informativne i uopštene. Mere performanse, uglavnom nisu vezane za specifične industrije lanaca snabdevanja, dok su rezultati studija bez praktičnih implikacija, sem zaključka da bi trebalo primeniti više balansiran pristup.

Dalje, može se zaključiti da postoji potreba da se usvoji opšte prihvaćena definicija sistema merenja performansi lanca snabdevanja, kao i da postoji potreba da se pored razvoja konceptualnim modela sistema, što veći broj radova orijentiše ka studijama slučaja koje će dati okvire sa definisanje standardnih perofrmansi po industrijama.

Na kraju, ključan doprinos rada se ogleda u predložnom okviru za analizu sistema za merenje performansi lanaca snabdevanja i empirijskih studija u ovoj oblasti. Kao pravac daljeg istraživanja, trebalo bi testirati predloženi okvir i utvrditi primenjivost istog.

LITERATURA

[1] Barber, E. (2008). How to measure the “value” in value chains. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 38 (9), 685-698.

[2] Berrah, L., & Cliville , V. (2007). Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context. Computers in Industry (58), 709–719.

[3] Bhagwat, R., & Sharma, M. K. (2007). Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach. Computers & Industrial Engineering (53), 43-62.

[4] Brewer, P. C., & Speh, T. W. (2000). Using the balanced scorecard to measure supply chain performance. Journal of Business Logistics, 21 (1), 75.

[5] Chae, B. (2009). Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective . Supply Chain Management: An International Journal, 14 (6), 422-428.

[6] Chan, F., & Qi, H. (2003). Feasibility of performance measurement system for supply chain: a process-based approach and measures. Integrated Manufacturing Systems, 179-190.

[7] Chia, A., Mark, G., & Hum, S.-H. (2009). Performance measurement in supply chain entities: balanced scorecard perspective . Benchmarking: An International Journal, 16 (5), 605-620.

[8] Cho, D. W., Lee, Y. H., Ahn, S. H., & Hwang, M. K. (2012). A framework for measuring the performance of service supply chain management. Computers & Industrial Engineering, 801–818.

[9] Chow, G., Heaver, T., & Henriksson, L. (1994). "Logistics Performance: Definition and Measurement. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 24 (1), 17-28.

[10] Cooper, M. C. (1997). Supply Chain Manage- ment: More Than a New Name for Logistics. The International Journal of Logistics Management, 8 (1), 1-14.

[11] Elgazzar, S., Tipi, N., Hubbard, N., & Leach, D. (2012). Linking supply chain processes' performance to a company's financial strategic objectives. European Journal of Operational Research (223), 276–289.

[12] Ganga, G. M., & Carpinetti, L. C. (2011). A fuzzy logic approach to supply chain performance management. Int. J. Production Economics (134), 177–187.

[13] Ganji Jamehshooran, B., Shaharoun, A., & Haron, H. N. (2015). Assessing Supply Chain Performance through Applying the SCORE Model. International Journal of Supply Chain Management, 4 (1), 11.

[14] Gulledge, T., & Chavusholu, T. (2008). Automating the construction of supply chain key performance indicators. Industrial Management & Data Systems, 108 (6), 750-774.

[15] Huan, S., Sheoran, S., & Wang, G. (2004). A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. Supply Chain Management: An International Journal, 9 (1), 23-29.

[16] Kaplan, R., & Norton, D. (1992). The Balanced Scorecard - measures that Drive Performance. Harward Business Review, 71-79.

[17] Kleijnen, J., & Smits, M. (2003). Performance Metrics in Supply Chain Management. The Journal of the Operational Research Society, 54 (5), 507-514.

[18] Maestrinia, V., Luzzinib, D., Maccarronea, P., & Caniatoa, F. (2017). Supply chain performance measurement systems: A systematic review and research agenda. Int. J. Production Economics (183), 299-315.

[19] Mentzer, J., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., et al. (2001). Defining Supply Chain Management. Journal of Business Logistics, 22 (2), 1-25.

[20] Neely, A., Mike, G., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design A literature review and research agenda. International Journal of Operations & Production Management, 15 (4), 80-116.

[21] Oliveira, M. P., McCormack, K., & Trkman, P. (2012). Business analytics in supply chains – The contingent effect of business process maturity. Expert Systems with Applications (39), 5488–5498.

[22] Park, J. H., Lee, J. K., & Yoo, J. S. (2005). A framework for designing the balanced supply chain scorecard. European Journal of Information Systems (14), 335–346.

[23] Ross, D. F. (1998). Competing Through Supply Chain Management. Ney York: NY: Chapman & Hall.

[24] Sellitto, M. A., Pereira, G. M., Borchardt, M., Silva, R. I., & Viegas, C. V. (2015). A SCOR-based model for supply chain performance measurement: application in the footwear industry. International Journal of Production Research, 53 (16), 4917–4926.

[25] Shafiee, M., Lotfi, F. H., & Saleh, H. (2014). Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach . Applied Mathematical Modelling (38), 5092–5112 .

[26] Thakkar, J., Kanda, A., & Deshmukh, S. (2009). Supply chain performance measurement framework for small and medium scale enterprises . Benchmarking: An International Journal , 16 (5), 702-723 .

[27] Tyndall, G., Gopal, C., Partsch, W., & Kamauff, J. (1998). Supercharging Supply Chains: New Ways to Increase Value Through Global Operational Excellence. New York: John Wiley & Sons.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PREDGLED PROBLEMA JOB SHOP: KARAKTERISTIKE I METODE REŠAVANJA

REVIEW ON JOB SHOP PROBLEM: CHARACHTERISTICS AND SOLVING METHODS

ZORAN RAKIĆEVIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, zrakicevic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ovaj rad predstavlja aktuelni pregled istraživanja problema Job Shop u literaturi. Job Shop predstavlja problem raspoređivanja operacija obrade nekoliko proizvoda na nekoliko mašina, pri čemu proizvodi mogu imati različit redosled obrade. Ovaj problem predstavlja sastavni deo procesa operativnog planiranja proizvodnje pružanja usluga u preduzećima. U radu je opisan osnovni Job Shop problem, zatim je predstavljeno i proširenje osnovnog problema na probleme u stranoj literaturi poznat pod nazivima: Flexible Job Shop i Dual Resource Constrained Job Shop. Svaki od problema je detaljno opisan sa aspekta svojih specifičnosti, osim toga, kroz pregled literature, predstavljena su aktuelna istraživanja ovog problema u poslednjih deset godina. Pregled literature je predstavljen sa aspekta parametara modela i metoda rešavanja. Na bazi istraženog problema pružen je kritički osvrt kako bi se utvrdio istraživački prostor za davanje budućeg doprinosa u unapređivanju modelovanja i rešavanja ovog problema.*

Ključne reči: *Job Shop, Flexble Job Shop, Dual Resource Constrained Job Shop, Planiranje proizvodnje, pregled literature, kritički osvrt.*

Abstract: *This paper presents actual overview of the Job Shop problem research in literature. Job Shop The job shop is a problem of scheduling several products on several machines where all the products have different processing route. This problem is the integral part of the operational planning of production and servicing process in enterprises. In this paper, the basic Job Shop problem is described, and then the main problem is expanded to problems in literature known as: Flexible Job Shop and Dual Resource Constrained Job Shop. Each of the problems is described in detail from its specificity; in addition, through the literature review, current research of these problem has been presented in the last ten years. The literature review is presented in terms of model parameters and methods of solving. Based on the investigated problem, a critical review was provided to determine the research space for giving future contributions in improving modeling and solving this problem.*

Keywords: *Job Shop, Flexble Job Shop, Dual Resource Constrained Job Shop, Production Planning, Literature Review, Critical Review.*

1. UVOD

U samom procesu planiranja proizvodnje, najbliži procesu transformacije resursa i stvaranju vrednosti je proces operativnog planiranja proizvodnje. Operativno planiranje proizvodnje je planiranje aktivnosti koje bi trebalo obaviti u kratkoročnom periodu (Omerbegović-Bijelović, 2010, str. 144). Ono, najčešće, obuhvata: a) Planiranje kratkoročnih potreba za proizvodnjom i proizvodnim resursima; b) Planiranje redosleda operacija i rasporeda proizvodnje proizvoda po mašinama; c) Terminiranje, tj. određivanje rokova za početak i završetak proizvodnih operacija; d) Planiranje raspoređivanja izvršilaca na aktivnosti u pružanju usluga; Aktivnosti raspoređivanja i terminiranja predstavljaju jednu od najznačajnijih faza procesa operativnog planiranja, u kojoj je potrebno u određenom vremenskom periodu izvršiti alokaciju resursa na zadatke, uz uvažavanje jednog ili više kriterijuma uspešnosti (*Caramia & Dell'Olmo*, 2006, str. 23). Takođe, problemi raspoređivanja i terminiranja su jedni od najčešće istraživanih problema iz domena procesa operativnog planiranja u svakodnevnom poslovanju proizvodnih i uslužnih preduzeća (*Chaudhry & Khan*, 2016; *Jain & Meeran*, 1999; *Sharma & Jain*, 2016). U velikom broju slučajeva problemi raspoređivanja zavise od organizacije proizvodnog ili uslužnog procesa broja raspoloživih proizvodno-uslužnih resursa i njihovih karakteristika, konfiguracije proizvodnog sistema (procesno ili predmetno organizovana proizvodnja), i nivoa automatizacije (prisustvo sistema unutrašnjeg transporta ili ne). U ovom radu će se predstaviti *Job Shop* problem raspoređivanja koji predstavlja problem određivanja rasporeda operacija obrade nekoliko proizvoda na zadatom skupu nekoliko različitih mašina (Rakićević & Stanojević 2016), koji je

karakterističan za proizvodnju malog obima različitih proizvoda koji se izrađuju prema porudžbini i željama kupaca (*Inc. Magazine*, 2016).

2. OPIS PROBLEMA JOB SHOP

Problem raspoređivanja i terminiranja u operativnom planiranju proizvodnje malog obima, gde je većina proizvode sa jedinstvenim redosledom operacija obrade, u stranoj literaturi je poznat pod engleskim terminom *Job Shop* problem. *Job Shop* karakteriše i procesno-organizovana proizvodnja veliki broj različitih proizvoda malog obima proizvodnje, poznata kao „prekidna" ili radionička proizvodnja. Ovakav oblik organizacije proizvodnog procesa je dominantan oblik oblik i organizacija proizvodnje u malim i srednjim preduzećima (MSP) današnjice (*Stevenson, Hendry, & Kingsman*, 2005). Ovaj tip proizvodnje predstavlja i početni model organizacije proizvodnog procesa novoosnovanih malih preduzeća (preduzetničkih poduhvata u proizvodnji). On pruža najveću fleksibilnost proizvodnim preduzetnicima – u pravljenju različitih proizvoda za zadovoljavanje potrebe kupaca, sa adekvatnim kvalitetom proizvoda i uslužnim standardima (*Inc. Magazine*, 2016).

Matematički posmatrano, *Job Shop* problem je poznat i kao problem raspoređivanja n proizvoda na m mašina, pri čemu svaki proizvod ima različit i unapred određen redosled obrade. Problemu *Job Shop* odgovara matematički model mešovitog celobrojnog i disjunktnog programiranja (*Pinedo*, 2009, str. 88) sa sledećim oznakama: n – broj proizvoda koje je neophodno rasporediti; m – ukupan broj mašina na kojima je potrebno izvršiti raspoređivanje; j – indeks koji označava proizvod, $j = 1,...,n$; i – indeks koji označava mašinu, $i = 1,...,m$; (j,i) – predstavlja uređeni par tj. operaciju obrade j-tog proizvoda na i-toj mašini.

Parametri u modelu su: p_{ji} – vreme obrade j-tog proizvoda na i-toj mašini tj. vremensko trajanje operacije (j,i); d_j – rok za završetak j-tog proizvoda.

Upravljačke promenljive u modelu su: s_{ji} – vremenski trenutak početka obrade j-tog proizvoda na i-toj mašini; a_{jk} – binarna promenljiva uzima vrednost 1 ako j prethodi k, i vrednost 0 u suprotnom; pri čemu M predstavlja veliki pozitivan broj. C_{max} – majoranta, vremenski trenutak završeka obrade svih proizvoda.

Matematički model ima sledeći oblik:

$$(\min)\ C_{\max} \qquad (1.1)$$

n.o.

$$s_{ij} + p_{ij} \le s_{i+1j} \quad \forall\ i = 1,...,m-1,\ j=1,...,n \qquad (1.2)$$

$$s_{ij} + p_{ij} \le C_{\max} \quad \forall i = 1,...,m,\ j=1,...,n, \qquad (1.3)$$

$$M \cdot a_{jk} + s_{ik} \ge s_{ij} + p_{ij} \quad \forall i = 1,...,m,\ j,k = 1,...,n,\ j \ne k, \qquad (1.4)$$

$$M \cdot (1 - a_{jk}) + s_{ij} \ge s_{ik} + p_{ik} \quad \forall i = 1,...,m,\ j,k = 1,...,n\ , j \ne k, \qquad (1.5)$$

$$s_{ij} \ge 0 \qquad \forall i = 1,...,m,\ j = 1,...,n,$$

$$a_{jk} \in [0,1]$$

Kriterijumska funkcija (1.1) označava vreme završetka obrade poslednjeg raspoređenog proizvoda (pa samim tim i celokupne proizvodnje). Ograničenja (1.2) u modelu obezbeđuju da svaka naredna operacija $(j,i+1)$ ne može početi pre nego što se prethodna (j,i) završi. Naredno ograničenje (1.3) pokazuje da vreme završetka svake operacije nije posle vremena završetka obrade poslednjeg proizvoda. Ograničenja (1.4) i (1.5) zajedno predstavljaju disjunktna ograničenja. Ova ograničenja označavaju da redosled obrade na svakoj mašini može biti različit, a proizvodi se uvek moraju obrađivati u poretku (j-ti pre k-tog, i obratno) a nikada istovremeno na istoj mašini. U opštem slučaju, radi se o vrlo složenom problemu koji pripada klasi *NP* (*Non-deterministic Polynomial*) teških problema. Problem *Job shop* je *NP* težak problem, već za problem minimizacije vremena završetka obrade dva proizvoda ($J2||C_{max}$), što je predstavljeno u radu Lenstra i Kan (1979). Zbog toga se za rešavanje *Job Shop* problema velikih dimenzija (zbog nemogućnosti primene efikasnih egzaktnih metoda), najčešće koriste jednostavne heurističke metode u vidu definisanih pravila raspoređivanja, kao i složene heuristike, u vidu metoda lokalnog pretraživanja ili veštačke inteligencije.

Pored funkcije cilja C_{max}, koja je predstavljena u matematičkom modelu (1.1), u praktičnim problemima raspoređivanja planeri su najčešće suočeni sa više od jednog cilja koji je potrebno ispuniti (*Allahverdi*, 2016). Među heurističkim metodama dominiraju (videti Tabelu 1): pravila prioriteta (*PP*), lokalno pretraživanje (*LS*), tabu pretraživanje (*TS*), simulirano kaljene (*SA*), genetski algoritmi (*GA*), evolutivni algoritmi (*EA*), metoda promenljivih okolina (*VNS*), neuronske mreže (*NN*), optimizacija kolonijom mrava(*ACO*), optimizacija rojevima čestica (*PSO*), veštačke kolonije pčela (*ABC*), algoritam za optimizaciju

на bazi ponašanja vinske mušice (*FFA*), i Хибридни алгоритам империјалистичке конкурентности *(HICA*[1]*)*.

Samo neke od velikog broja kriterijumskih funkcija (*Chaudhry* & *Khan*, 2016; *Pinedo*, 2009; *T'kindt* & *Billaut*, 2006, str. 6) se dalje navode i grupišu: Prvu grupu čine „*max*“ funkcije koje prikazuju maksimalnu vrednost u skupu raspoređenih proizvoda:

$C_{max}=max_j\{c_{ji}\}$ - vremenski trenutak završetka obrade poslednjeg raspoređenog proizvoda (gde je $c_{ji} = s_{ji} + p_{ji}$, kraj obrade *j*-tog proizvoda na *i*-toj mašini); Ovo je jedan od najčešćih kriterijuma u literaturi, u modelima i metodama rešavanja problema raspoređivanja, uprkos tome što su problemi raspoređivanja u praksi najčešće višekriterijumske prirode. $T_{max} =max_j(T_{ji})$, najveće vremensko kašnjenje završetka obrade proizvoda, gde je $T_{ji}=c_{ji}-d_j$ kašnjenje sa završetkom obrade *j*-tog proizvoda na *i*-toj mašini. $E_{max}=max_j(E_{ji})$, najranije vreme završetka obrade proizvoda, gde je $E_{ji}=d_j-c_{ji}$, raniji završetak obrade *j*-tog proizvoda na *i*-toj mašini.

Drugu grupu čine „*sum*“ funkcije koje predstavljaju zbirne vrednosti u skupu raspoređenih proizvoda: $\sum_{j=1}^{n} C_{ji}$ - ukupno vreme završetka obrade svih proizvoda. Ova funkcija može biti predstavljena i sa težinskim koeficijentima ($\sum_{j=1}^{n} w_j C_{ji}$). $\sum_{j=1}^{n} T_{ji}$ - Ukupno kašnjenje obrade svih proizvoda, takođe može biti predstavljeno preko težinskih koeficijenata koji mogu predstavljati troškove kašnjenja ($\sum_{j=1}^{n} w_j T_{ji}$). $\sum_{j=1}^{n} E_{ji}$ - Ukupni raniji završetak obrade svih proizvoda. U praksi nije redak slučaj da ukoliko se neki proizvod završi ranije da zbog čekanja na skladištu ili kao delimično obrađen posao takođe generiše izvesne troškove. $\sum_{j=1}^{n} U_{ji}$ - Ukupan broj proizvoda ili poslova koji kasne sa završetkom obrade. Ukoliko *j*-ti proizvod kasni $C_j>d_j$, onda je $U_j=1$, u suprotnom je $U_j=0$.

Cilj uspešnog raspoređivanja je minimizacija prethodno definisanih *max* i *sum* funkcija. Pored prethodno definisanih osnovnih kriterijumskih funkcija postoje i one koje su izvedene kao njihova kombinacija. Grupu funkcija koje kombinuju funkcije E_{ji} i T_{ji}, autori *T'kindt* i *Billaut* (2006) nazivaju *Just-in-Time (JIT)* kriterijumi. Suština ovog pristupa je da se u proizvodnim sistemima teži planiranju proizvodnje u kome će proizvodi biti gotovi ili isporučeni baš u trenutku kada je potrebno da budu korišćeni za distribuciju krajnjem korisniku ili za dalju upotrebu u procesu stvaranja vrednosti.

U teoriji, problem *Job Shop* podrazumeva brojna ograničenja i pretpostavke, a neka od njih ponekad ne odgovaraju realnom ponašanju proizvodnog sistema (*Zapfel* et al., 2010, str. 159; *Slomp* et al., 2009): Mašina može da obradi samo jedan proizvod u datom trenutku i svaki proizvod u datom trenutku može biti obrađivan samo na jednoj mašini (fizički je nemoguća paralelna obrada); U opštem obliku prekidanje jedne operacije u cilju procesiranja neke druge koja je hitnija nije moguće; Svaki posao (operacija) se može realizovati na svakoj mašini samo jedanput; Pripremna vremena i vremena transporta između dve operacije se zanemaruju ili su uključena u vremena obrade; Poslovi mogu čekati na obradu u neograničenim među-operacionim skladištima; Svaka mašina je stalno i neprekidno spremna za rad, ili mašine ne moraju non stop biti raspoložive (*brkdwn*); Nema grešaka koje bi izazvale doradu delova; Postoji različita vreme dolaska proizvoda u sistem (r_j) i različito vreme pripreme među proizvodima (*STsd*);

3. PROŠIRENJE PROBLEMA JOB SHOP

Proširenje problema Job *Shop* je poznato pod nazivom *Flexible Job Shop*. Ovaj problem nastaje kada se u pojedinim fazama kroz koje se obrađuju proizvodi, umesto jedne mašine, nalazi mašinski centar sa *c* mašina iste vrste od kojih bilo koja može da izvršava istu vrstu obradu (*Pezzella, Morganti, & Ciaschetti*, 2008). Za razliku od klasičnog problema *Job Shop* u kome su operacije fiksirane po mašinama kod problema *Flexible Job Shop (FJS)* postoji fleksibilnost jer raspored operacija na mašine nije unapred određena. Problem raspoređivanja u problemu *FJS* može se podeliti u dva potproblema koji se posmatraju i kao dve faze (*Chaudhry & Khan*, 2016; *Zhang, Gao, & Shi*, 2011):

1) Problem određivanja proizvodne putanje, tj. problem asignacije, dodeljivanja svake operacije mašini koja je izabrana iz skupa mašina sposobnih za obradu date operacije. U fazi asignacije treba svaki par (proizvod*operacija) dodeliti samo jednoj od za to predviđenih mašina.

[1] Енгл. *Hybrid Imperialist Competitive Algorithm.* Врста локалне претраге са основна идеја је опонашање процеса империјалистичког такмичења великих сила за њихове колоније. Колонију са најнижим трошковима узети од најслабијег империјалисте и доделити оној великој сили са највећом вероватноћом поседовања.

2) Problem određivanja redosleda obrade dodeljenih operacija po mašinama u svrhu dobijanja izvodljivog rasporeda koji će minimizovati unapred definisanu željenu funkciju cilja. Ova faza ima zadatak da, na izabranim mašinama u prethodnoj fazi, odredi redosled izvođenja svih dodeljenih operacija, uz cilj optimizacije željene kriterijumske funkcije.

S obzirom na podeljenost problema *FJS* na dve faze, optimalna dodela u prvoj fazi ne mora garantovati optimalni raspored u drugoj fazi. Zbog toga je u slučaju rešavanja ovog problema potrebno iterativno prolaziti kroz faze sa ponovnim vraćanjem. Za razliku od klasičnog problema Job Shop, gde se svaka operacija procesira na unapred određenoj mašini, kod problema *FJS* svaka operacija može biti obrađena na jednoj od nekoliko raspoloživih mašina. To čini problem *FJS* kompleksnijim za rešavanje shodno razmatranju i problema asignacije i problema raspoređivanja, a pokazano je i da je problem *NP*-težak (*Zhang* et al., 2011). Problem *FJS* се може записати на следећи начин (*Pezzella* et al., 2008): Potrebno je rasporediti n proizvoda $J=\{J_1, J_2,...,J_n\}$, pri čemu svaki posao J_i $(i=1,2,...,n)$ ima unapred određen redosled n_i operacija $(O_{i,1},O_{i,2},...,O_{i,ni})$ koje je potrebno da se realizuje u zadatom redosledu na m mašina $M=\{M_1, M_2, ...,M_m\}$. Operacije $O_{i,j}$ mogu biti izvedene na određenom podskupu mašina $M_{i,j}$ iz skupa raspoloživih mašina M. Svaka mašina može obraditi samo jednu operaciju u datom trenutku, a vremena obrade svake operacije zavise od raspoloživih mašina i predstavljaju se sa $p_{i,j,k}$ (vremena obrade operacije $O_{i,j}$ na mašini M_k). Dakle, problem je rasporediti svaku operaciju na odgovarajuću mašinu (problem asignacije) a zatim odrediti redosled svih, mašinama dodeljenih operacija (problem redosleda) u svrhu minimizacije funkcije cilja.

Osim mašina, operacije mogu zahtevati istovremeno angažovanje nekih dodatnih tipova resursa (na primer radnici i specijalni alat). Prema *Slomp* et al. (2009), *Job Shop* problem koji je dvostruko resursno ograničen (gde su radnici i mašine ograničavajući faktor za protok i redosled radnih naloga) je poznat pod engleskim nazivom (*Dual Resource Constrained - DRC*). I klasičan problem *Job Shop* i prošireni *Flexible Job Shop*, mogu se još dodatno proširiti kroz posmatranje raspoloživih radnika koji učestvuju u realizaciji proizvodnih aktivnosti. U takvom problemu ograničenost čine i radnici i mašine pa je ovaj problem poznat pod nazivom (*Dual resource constrained flexible Job Shop - DRCFJS*).

Prema *Zheng* i *Wang* (2016) u problemu *DRCFJS* potrebno je rasporediti n proizvoda $J=\{J_1, J_2,...,J_n\}$ na m mašina $M=\{M_1, M_2,...,M_m\}$ sa w radnika $W=\{W_1, W_2,...,Ww\}$. Svaki posao J_i $(i=1,2,...,n)$ ima unapred određen redosled n_i $(O_{i,1},O_{i,2},...,O_{i,ni})$. Operacije $O_{i,j}$ mogu biti izvedene na svakoj mašini $M_{i,j}$ iz skupa raspoloživih mašina. Svaka mašina može obraditi samo jednu operaciju u datom trenutku. Takođe radnici koji su deo proizvodnog sistema mogu imati različite veštine i znanja za rukovanjem na mašinama. Neka je $M(W_k)$ bude skup mašina na kojim mogu raditi radnici predstavljeni sa skupom W_k. Za svaku mašinu iz skupa $M(W_k)$, W_k se naziva skup kvalifikovanih radnika. Vreme obrade svake operacije zavisi od dodeljenih mašina i radnika pa se može predstaviti kao p_{ijuk} što predstavlja vreme obrade operacije $O_{i,j}$ na mašini M_u sa radnikom W_k. Cilj je odrediti adekvatno dodeljivanje radnika i mašina svakoj operaciji kao i određivanje redosleda obrade svake operacije na mašinama uz minimizaciju vrednosti željene kriterijumske funkcije. Dakle, ovaj problem se takođe sastoji iz dva potproblema: problem asignacije i problema redosleda, uz konstataciju da je problem asignacije značajno složeniji zbog dve vrste ograničenih resursa. Dodatna ograničenost u problemu se može javiti ukoliko je jedan resurs značajno manje raspoloživ od drugog. Kao na primer raspoloživo je n mašina i manji broj radnika w (tj. $w<n$) (Slomp et al., 2009). Predstavljanje matematičkih modela se za probleme *DRCFJS* se izostavlja jer se ovaj problem uglavnom rešava preko heuristika.

4. ISTRAŽIVANJE LITERATURE

U ovom delu rada predstavljena je metodologija koja je korišćena u istraživanju i pregledu literature o problemu *Job Shop*. Sistematski pregled do sada objavljenih istraživanja treba da pruži mogućnost za kritički osvrt na analizirane pristupe i relevantna rešenja posmatranog problema. Radi obezbeđivanja temeljitosti i objektivnosti u pretrazi literature, sproveden je sistematičan metod u pregledu i analizi (*Thomé, Scavarda, & Scavarda*, 2016). Pretraga radova je bila ograničena na radove iz međunarodnih časopisa koji su referencirani u bibliografskim bazama naučnih radova. Sistematičan metod pregleda literature obuhvatio je sledeće faze: 1) Definisanje teme od interesa istraživanja (*Job Shop*); 2) Izbor bibliografske baze za pretraživanje (*Web of Science©*, *SCOPUS©*); 3) Pretraga radova (izvršena za poslednjih deset godina); 4) Selekcija radova je izvršena pregledom naslova, apstrakta i celokupnog sadržaja rada; 5) Analiza radova (Tabela 1) obuhvatila je opis: autora rada, problema istraživanja, elemenata modela i metode rešavanja.

Tabela 1: Analiza selektovanih radova 2007-2017

Autori	*Problem*	*Elementi modela*	*Metoda*
(Saidi-Mehrabad & Fattahi, 2007)	*FJS*	C_{max}	*TS*

(Essafi, Mati, & Dauzère-Pérès, 2008)	*JS,*	$w_j \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$; r_j	*GA*
(Gao, Sun, & Gen, 2008)	*FJS*	C_{max}	*GA i VNS*
(Pezzella et al., 2008)	*FJS*	C_{max}	*GA*
(Tay & Ho, 2008)	*FJS*	C_{max}; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} \left(C_j - r_j\right)$	*PP i GA*
(Weckman, et al., 2008)	*JS*	C_{max}	*NN*
(Manikas & Chang, 2009)	*JS*	C_{max}; $\sum_{j=1}^{n} T_j + \sum_{j=1}^{n} E_j$	*GA*
(Roshanaei et al., 2009)	*JS*	C_{max}; *(STsd)*	*VNS*
(Zhou, Cheung, & Leung, 2009)	*JS*	$w_j \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$	*GA*
(Zhou, Nee, & Lee, 2009)	*JS*	C_{max}; r_{ij}; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} C_j - R_j$	*ACO*
(Adibi, Zandieh, & Amiri, 2010)	*JS*	C_{max}, $\sum_{j=1}^{n} T_j$; r_j ; (*brkdwn*)	*VNS*
(Lei, 2010)	*JS*	*fuzzy* C_{max}; *fuzzy* p_{ij}; *fuzzy* d_{ij}	*GA*
(Lin et al., 2010)	*JS*	C_{max}	*PSO* i *SA*
(Sha & Lin, 2010)	*JS*	C_{max}; $\sum_{j=1}^{n} T_j$	*PSO*
(Li, Pan, & Liang, 2010)	*FJS*	C_{max}; $\sum_{j=1}^{n} p_{ijk}$; $\max_i \left(C_{ij} - \sum_{j=1}^{n} p_{ij} \right)$	*TS* i *VNS*
(Vázquez & Petrovic, 2010)	*JS*	C_{max}; T_{max}; E_{max}; $w_j \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$; i dr.	*GA* i *PP*
(Bagheri & Zandieh, 2011)	*FJS*	C_{max}; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$;(*STsd*)	*VNS*
(Li, Pan, & Gao, 2011)	*FJS*	C_{max}; $\max_i \left(C_{ij} - \sum_{j=1}^{n} p_{ij} \right)$	*ABC*
(Lu, Huang, & Yang, 2011)	*JS*	$\sum_{j=1}^{n} \left(\max_i \left(C_j, D_j\right) - R_{ij} \right) / m$; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} \left\| C_j - D_j \right\|$	*PP*
(Moslehi & Mahnam, 2011)	*FJS*	C_{max}; $\sum_{j=1}^{n} p_{ijk}$	*LS* i *PSO*
(Vilcot & Billaut, 2011)	*FJS*	C_{max}; L_{max}; $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$	*TS*
(Zhang et al., 2011)	*FJS*	C_{max}	*GA*
(Lei, 2012)	*FJS*	*Fuzzy* C_{max}	*GA*
(Yang, et al., 2012)	*JS*	$\sum_{j=1}^{n} w'_j \cdot E_j + \sum_{j=1}^{n} w''_j \cdot T_j$	*GA*
(Chen & Matis, 2013)	*JS*	$w_j \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$	*PP*
(Demir & Kürşat Işleyen, 2013)	*FJS*	C_{max}	*CPLEX*
(Nguye et al., 2013)	*JS*	C_{max}; $w_j \cdot \sum_{j=1}^{n} T_j$	*GA* i *PP*
(Xiong, Xing, & Chen, 2013)	*FJS*	C_{max}; $\sigma = \frac{C_{\max} - C_{o\max}}{C_{o\max}}$; (*brkdwn*)	*EA*
(Yuan & Xu, 2013)	*FJS*	C_{max}	*EA*
(Shen, 2014)	*JS*	C_{max}; *(STsd)*	*TS*
(Lei & Guo, 2014)	*DRCFJS*	C_{max}	*VNS*

(Wang & Li, 2014)	*JS*	$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(w'_{ij}E_{ij}+w''_{ij}T_{ij})$	*VNS*
(Asadzadeh 2015)	*JS*	C_{max}	*LS i GA*
(Chang et al., 2015)	*FJS*	C_{max}	*GA*
(Chen et al., 2015)	*FJS*	$\frac{1}{n}\cdot\sum_{j=1}^{n}\lvert C_j-D_j\rvert$	*GA*
(Huang & Süer, 2015)	*JS*	C_{max} ;T_{max}; $\frac{1}{n}\cdot\sum_{j=1}^{n}F_j\cdot\sum_{j=1}^{n}T_j$	*GA i PP*
(Liu, Fan, & Liu, 2015)	*FJS*	C_{max}; *fuzzy* p_{ij}; *fuzzy* d_j	*EA*
(Palacios, et al., 2015)	*FJS*	C_{max}; *fuzzy* p_{ij}	*GA* i *TS*
(Shen & Yao, 2015)	*FJS*	C_{max} ; $\sum_{j=1}^{n}T_j$; r_j ; (*brkdwn*);	*EA*
(Singh & Mahapatra, 2015)	*FJS*	C_{max}	*PSO*
(Zambrano Rey et al., 2015)	*FJS*	$\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\frac{(D_j-C_j)^2}{n}}$	*GA* i *PSO*
(Li & Gao, 2016)	*FJS*	C_{max}	*GA* i *TS*
(Kuhpfahl & Bierwirth, 2016)	*JS*	$w_j\cdot\sum_{j=1}^{n}T_j$	*LS*
(Kundakcı & Kulak, 2016)	*JS*	C_{max}; r_j ; (*brkdwn*)	*GA* i *TS*
(Zheng & Wang, 2016)	*DRCFJS*	C_{max}	*FFA*
(Elgendy et al. 2017)	*FJS*	C_{max} ; r_j ; (*brkdwn*);	*GA*
(Yazdani et al. 2017)	*JS*	$T_{max}+E_{max}$	*HICA*

5. KRITIČKI OSVRT I ZAKLJUČAK

Ovaj deo rada ima za cilj da prikaže kritički osvrt na dosadašnje rezultate istraživanja na temu problema *Job Shop* kao i da pruži potencijalne mogućnosti za unapređenje postojećih načina modelovanja i rešavanja problema. Među bogatom literaturom na temu *Job Shop* problema uočeno je sledeće:

Najveći broj radova o problemu *Job Shop* razmatra samo jednokriterijumske probleme - vreme završetka obrade svih proizvoda (C_{max}). Višekriterijumski pristupi, koji su bliži realnim primerima, mogu biti budući istraživački izazov. Često se u modelima planiranja proizvodnje ne razmatra fleksibilnost proizvodne opreme, ograničena raspoloživost radne snage, ali i prostora za među-operacijske zalihe i gotove proizvode. Takođe, što se tiče uspešnosti planiranja, osnovni kriterijum je vreme iako je u praksi trošak po jedinici vremena mnogo relevantniji kriterijum. Pored toga, i pomenuti troškovi ne moraju biti linearno zavisni od količina i vremena već mogu imati osobine nelinearnih, stepenih funkcija ali i odskočnih. Pojedini parametri koji se odnose na vremena obrade i vremena pripreme u procesu proizvodnje, kao i ograničenje kapaciteta mašina ne moraju biti unapred određeni i mogu biti nejasni, pa se primena metoda u ovoj oblasti smatra velikim izazovom.

Među metodama rešavavanja, najviše se primenjuju sofisticirane metaheuristike (*GA, VNS, TS, SA*), a u manjoj meri ostale heuristike poput konstruktivnih, kao i nova pravila prioriteta, koja su u praksi MSP od izuzetne važnosti.

Pored koncepta *Just-In-Time (JIT)* koji se upotrebljava u širem smislu u upravljanju proizvodnjom, implementacija ovog koncepta u problemima raspoređivanja je skromnije zastupljena i može biti unapređena sa brojnim troškovnim funkcijama. Takođe umesto jednostavne linearne funkcije, mogu se primeniti kvadratna, i druge mere odstojanja od roka za završetak. Pored toga, troškovi kašnjenja ili ranijeg završetka koji se uglavnom predstavljaju linearno, u realnim slučajevima nisu linearni i proporcionalni vremenu kašnjenja/ranijeg završetka, te se moraju modelirati kao određena nelinearna ili čak intervalna funkcija, što autor vidi kao mogućnost unapređenja.

Problem *Job Shop* se proširuje na problem *Flexible Job Shop* i *Dual Resource Constraints Job Shop*, koji su dobro zastupljeni u literaturi. Ovi problemi mogu biti dodatno unapređeni kroz primenu brojnih metoda, algoritama ali i kriterijumskih funkcija, dodatnih ograničenja itd. Za istraživanje su interesantni i *Job Shop* problemi sa ograničenim međufaznim skladištima (broj nedovršenih proizvoda u sistemu) kao i *Job Shop* sa ograničenjem koje se odnosi na to da proizvodi posle obrade na jednoj operaciji ne mogu čekati obradu na drugoj već moraju biti procesuirani bez čekanja u obradi između operacija. U uslovim neodređenosti problema *Job Shop* javlja se i primena fuzzy koncepta i karakteristika na ovom problemu: vremena trajanja

operacija, rok završetka, raspoloživi kapaciteti, kriterijumi uspešnosti. Posebno je interesantna primena fuzzy logike u rešavanju Job Shop problema preko pravila prioriteta, što se može i dalje unapređivati.

Za razliku od naučnog pristupa, u praksi se i danas, u velikom broju slučajeva, s obzirom na njegovu složenost, ovaj problem rešava na osnovu subjektivnih iskustava pojedinaca koji rade na poslovima raspodele posla ili primenom jednostavnih pravila prioriteta. Rokovi isporuke se takođe određuju napamet, na osnovu iskustava pojedinaca koji rade na tim poslovima. Međutim, određivanje adekvatnog rasporeda i redosleda obrade je danas nauka koja upotrebljava i primenjuje napredne matematičke metode i algoritme. Adekvatnim rešavanjem problema raspoređivanja i optimalnim rasporedom poslova i proizvoda može se ostvariti koncept pravovremenosti (*JIT*) kao i povećati uspešnost proizvodnog procesa preko sledećih parametara: minimizacija odstupanja od traženih rokova, smanjenje ciklusa proizvodnje, smanjenje među-operacionih zaliha, smanjenje zastoja u proizvodnji, povećanje stepena iskorišćenja kapaciteta, uravnoteženje procesa proizvodnje smanjenje troškova zaliha, kroz niži nivo zaliha i povećanje prihoda preko višeg nivoa realizovanih porudžbina.

LITERATURA

[1] Allahverdi, A. (2016). A survey of scheduling problems with no-wait in process. *European Journal of Operational Research*, *255*(3), 665–686.

[2] Brucker, P., Knust, S. (2009) *Complexity results for scheduling problems*, Osnabrück University.

[3] Caramia, M., & Dell'Olmo, P. (2006). *Effective resource management in manufacturing systems: optimization algorithms for production planning*. Springer-Verlag London Limited.

[4] Chaudhry, I. A., & Khan, A. A. (2016). A research survey: Review of flexible job shop scheduling techniques. *International Transactions in Operational Research*, *23*(3), 551–591.

[5] Inc. Magazine. (2016). *Job Shop*. http://www.inc.com/encyclopedia/job-shop.html

[6] Jain, A. S., & Meeran, S. (1999). Deterministic job-shop scheduling: Past, present and future. *European Journal of Operational Research*, *113*(2), 390–434.

[7] Lenstra, J. K., Kan, A. R. (1979). Computational complexity of discrete optimization problems". *Annals of Discrete Mathematics*, 4 121-140.

[8] Omerbegović-Bijelović, J. (2010). *Osnove operacionog menadžmenta*. Beograd: FON.

[9] Pezzella, F., Morganti, G., & Ciaschetti, G. (2008). A genetic algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem. *Computers and Operations Research*, *35*(10), 3202–3212.

[10] Pinedo, M. (2009). *Planning and scheduling in manufacturing and services*. New York: Springer

[11] Rakićević, Z., & Stanojević, M. (2016). Pravovremeno raspoređivanje u Job shop problemu: pristup višekriterijumske optimizacije. *Zbornik XLIII SymOpIs 2016* (pp. 457–460). Beograd: „Odbrana".

[12] Sharma, P., & Jain, A. (2016). A review on job shop scheduling with setup times. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *230*(3), 517–533.

[13] Slomp, J., Bokhorst, J. a. C., & Germs, R. (2009). A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation. *Pr.Planning & Control*, *20*(7), 586–595.

[14] Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, *43*(5), 869–898.

[15] Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., & Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, *27*(5), 408–420.

[16] T'kindt, V., & Billaut, J.-C. (2006). *Multicriteria scheduling.* Berlin: Springer.

[17] Zapfel, G., Bogl, M., & Braune, R. (2010). *Metaheuristic search concepts: A tutorial with Applications to Production and Logistics*. Berlin: Springer.

[18] Zhang, G., Gao, L., & Shi, Y. (2011). An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, *38*(4), 3563–3573.

2017

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

VIŠEKRITERIJUMSKI PRISTUP SELEKCIJI DOBAVLJAČA ZASNOVAN NA AHP METODI

MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACH FOR SUPPLIER SELECTION BASED ON AHP METHOD

SANJA PUZOVIĆ[1], VLADAN PAUNOVIĆ[2], MIROSLAV RADOJIČIĆ[3], JASMINA VESIĆ VASOVIĆ[4], MILENA VUJOVIĆ[5]

[1] Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, sanja.puzovic@ftn.kg.ac.rs
[2] Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, vladan.paunovic@ftn.kg.ac.rs
[3] Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, miroslav.radojicic@ftn.kg.ac.rs
[4] Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, jasmina.vesic@ftn.kg.ac.rs
[5] milenavujovic92@gmail.com

Rezime: *Razvoj efikasnog lanca snadbevanja kao integrisanog sistema ključnih poslovnih procesa koji stvaraju dodatnu vrednost za krajnjeg korisnika predstavlja strateški prioritet preduzeća. Za njegovu uspešnu implementaciju od presudne važnosti je pravilan izbor dobavljača što zahteva višekriterijumski pristup kako bi se postigao neophodan kompromis između suprostavljenih kvantitativnih i kvalitativnih kriterijuma koji se u ovom procesu moraju uvažiti. U radu je izložen višekriterijumski pristup baziran na AHP metodi koji je ilustrovan na primeru selekcije dobavljača repromaterijala specifične namene u fabrici MB „Fapromal“ d.o.o. Cilj rada je da ukaže na efikasnost i primenljivost predloženog modela u realnim uslovima.*

Ključne reči: *AHP metoda, izbor dobavljača, višekriterijumsko odlučivanje, lanac snadbevanja.*

Abstract: *The strategic priority for the company is development of an effective supply chain as an integrated system of key business processes that creates additional value for the end user. Crucial importance for its successful implementation is the proper suppliers selection, which requires MCDM approach in order to achieve a necessary compromise between the opposing quantitative and qualitative criteria which must be acknowledged in this process. The paper presents a multicriteria approach based on AHP method which is illustrated in the example of the selection of raw materials supplier for specific purposes in the factory MB "Fapromal" Ltd. The purpose of the paper is to highlight the efficiency and applicability of the proposed model in real terms.*

Key words: *AHP method, supplier selection, MCDM, supply chain.*

1. UVOD

Savremeni uslovi poslovanja namaću potrebu za razvijanjem efikasnog lanca snadbevanja kao strateškog prioriteta preduzeća. To zahteva da se upravljanje lancem snadbevanja uspostavi kao integrisani sistem upravljanja svakom pojedinačnom karikom u lancu. U tu svrhu važno je identifikovati mesto i ulogu svake karike i permanentno razvijati njihove pojedinačne performanse. Kako harmonični tok lanca snadbevanja nije moguće ostvariti bez pravovremene i ekonomične nabavke potrebnog materijala, sirovina i drugih sredstava, nabavka danas postaje tesno povezana sa formulisanjem strategije na najvišem nivou (Moses, 2011), a izbor dobavljača poseban izazov za savremenog proizvođača.

Problem izbora najpovoljnijeg dobavljača prevazilazi mogućnosti pojedinačnog donosioca odluka s obzirom na njegovu kompleksnost i činjenicu da kvalitet donete odluke zavisi od temeljnosti sa kojom ona kao rezultat procesa odlučivanja uzima u obzir sva pitanja koja je nophodno razmotriti shodno postojećoj situaciji (Rausch 2007). Jasno je da konvencionalne metode ne mogu obezbediti dovoljno racionalna rešenja, pa je u rešavanju ovog problema neophodan višekriterijumski pristup, čime se omogućava objektivno poređenje većeg broja alternativa ocenjenih u sistemu većeg broja različitih raznorodnih kriterijuma (Vesić Vasović *et al.* 2015). Ovaj proces u velikoj meri otežava činjenica da se kriterijumi na osnovu kojih se dobavljači vrednuju pri izboru pojavljuju u različitim jedinicama mere i često mogu biti različitog značaja sa

različitim zahtevima za maksimiziranjem i minimiziranjem (Radojičić *et al.* 2013, Vesić Vasović *et al.* 2011), oni su promenljivi u vremenu, raznorodni, često i kontradiktorni, njihov relativni značaj nije univerzalna kategorija već promenljiva u zavisnosti od situacije i subjektivne percepcije osoba uključenih u proces rešavanja problema.

Istraživanja koja se odnose na selekciju dobavljača uglavnom su fokusirana na dva područja: izbor kriterijuma za ocenu i razvoj metoda za evaluaciju dobavljača. Definisanje kriterijuma je determinisano konkretnom situacijom i ciljevima koje treba postići. Od kompatibilnosti primenjenih kriterijuma datoj situaciji i svojstvenosti problema zavisi i kvalitet krajnjeg izbora. Iako se mnoge studije bave istraživanjem kriterijuma za izbor dobavljača koristeći pristupe zasnovane na regresiji, treba napomenuti da metoda regresiranja ne može proceniti relativni značaj kriterijuma bez uvažavanja subjektivne procene donosioca odluke (Kumar Kar, and Pani 2014), pa je u evaluaciji dobavljača važno uključiti metode koje delom uvažavaju subjektivnu procenu donosioca odluke.

Brojni autori smatraju da je za pravilnu i efikasnu evaluaciju dobavljača neophodna primena hibridnih pristupa nastalih integracijom različitih tehnika. Autori Gülcin and Fethullah (2017) predlažu pristup baziran na IFAHP koji se koristi pri evaluaciji kriterijuma i IFAD koji se koristi pri konačnom rangiranju alternativa, dok autori Shu-pin *et al*. (2017) selekciju dobavljača posmatraju kao višekriterijumski problem sa kriterijumima koji imaju dva nivoa i za njega razvijaju hibridni pristup nastao integracijom TL-ANP i IT-ELECTRE II. Dok za isti problem Ghorbani *et al*. (2013) predlažu kompleksni pristup nastao kombinacijom Kano modela i vešekriterijumskih tehnika odlučivanja kao što su Fazi AHP i Fazi TOPICS. Autori Fallahpour et *al.*(2017) uvode novi pristup u evaluaciji dobavljača zasnovan na AHP metodi u kombinaciji sa Multi-expression programming metodom.

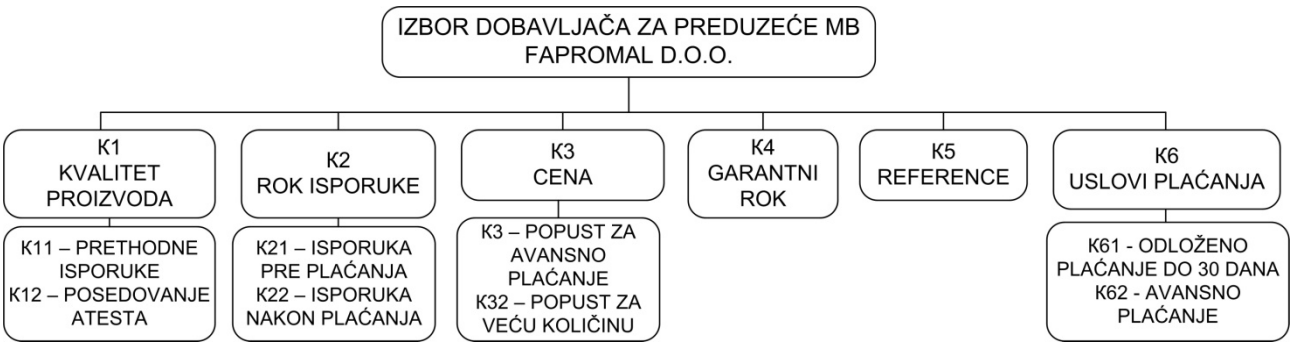
AHP metoda je najčešće korišćena metoda pri rešavanju problema selekcije dobavljača (Yadav and Sharma 2015, Hou and Su 2007). Autori Chan *et al.* (2010) koriste ovaj model pri izboru dobavljača u tekstilnoj industriji dajući primat kriterijumima organizacionih performansi i strategijski baziranim kriterijumima, dok se proces selekcije dobavljača AHP metodi u pojedinim studijama bazira na oceni alternativa na osnovu eko kriterijuma (Kannan *et al.* 2014), druge studije, pak naznačavaju značaj kriterijuma korporativne društvene odgovornosti (Xu *et al.* 2015). Studija autora Hou and Su (2007) ukazuje na efikasnost AHP modela pri izboru dobavljača u ekstremno promenljivom okruženju.

Primenom AHP metode moguće je postići odgovarajući balans između posmatrane alternative i kriterijuma prema kojima se ocenjuju. AHP metoda se zasniva na konceptima hijerarhijskog sturkturiranja, poređenja parova, procene, određivanja karakterističnog vektora, izvođenja pondera i razmatranja konzistentnosti. Do krajnjeg rešenja problema dolazi se sintezom alternativa u odnosu na globalni cilj, gde se dobijena vrednost alternative pri različitim kriterijumima dovodi u korelaciju sa težinom datih kriterijuma.

2. PROCES SELEKCIJE DOBAVLJAČA BAZIRAN NA AHP METODI

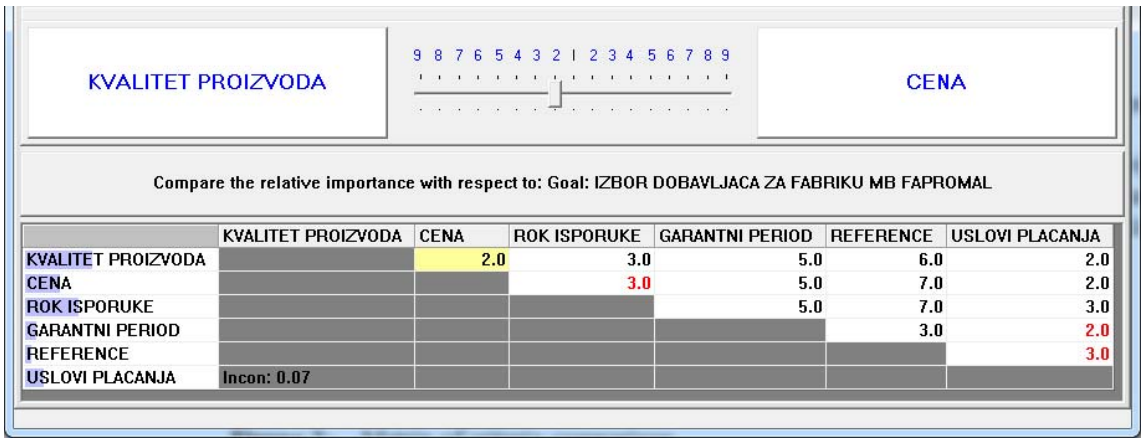
Predloženi pristup za izbor dobavljača zasnovan na AHP metodi, ilustrovan je na primeru njegove implementacije pri izboru dobavljača repromaterijala specifične namene u fabrici MB „Fapromal“ d.o.o. Radi se o fabrici procesne opreme za mehaničku, hemijsku, papirnu i konditorsku industriju. Primena ANR metode može olakšati proces evaluacije razmatrahih dobavljača i uspešno odgovoriti na brojne izazove sa kojima se proizvođači u ovom procesu susreću. Kao softverska podrška korišćen je Expert Choice koji se zasniva na konceptima AHP metode.

Kao alternative posmatraćemo ponude od dobavljača: *Prohrom Čačak, Modul G Požega, Slovas Čačak, Terboinox Sombor, Atenic comerc Čačak, MDM Ljubljana* i *Pankomerc Požega*. Potrebno je odabrati dobavljača koji će u najvećoj meri zadovoljiti postavljeni cilj – ostvariti blagovremenu i ekonomičnu nabavku potrebnih sredstava pod povoljnim uslovima po preduzeće. Evidentno je da će kvalitet odluke koju treba doneti biti determinisan njenom kompatibilnosti sa uslovima u kojima se donosi, vremenskim i finansijskim ograničenjima i raspoloživosti relevantnih informacija. Pošto kvalitetan izbor zahteva višeaspektnu procenu kompatibilnosti svake pojedinačne alternative sa datom situacijom, to će svaka od njih biti ocenjena u sistemu šest kriterijuma sa potkriterijumima. Kriterijume ćemo posmatrati kao atribute za opisivanje ponuđenih alternativa. Hijerarhijska struktura kriterijuma i potkriterijuma na bazi koji će se ocenjivati dobavljači i njihov međusobni odnos data je na Slici 1.



Slika 1: Hijerarhijski prikaz kriterijuma i potkriterijuma globalnog cilja „Izbor dobavljača repromaterijala“

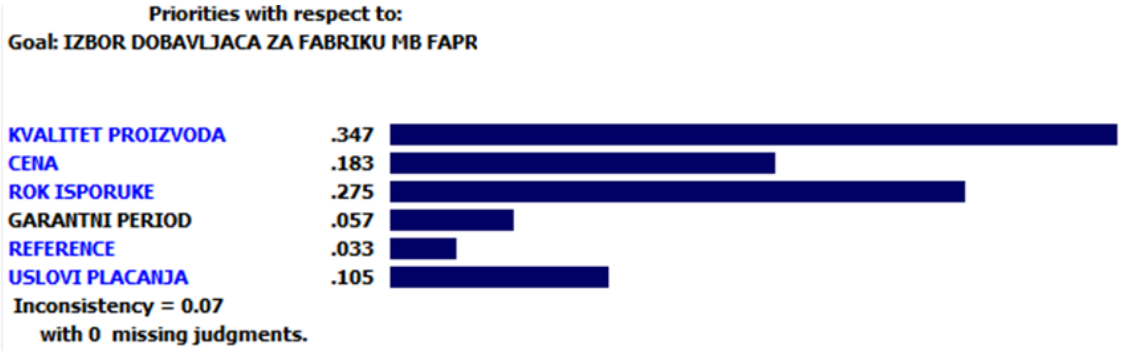
Koji kriterijum će u kojoj meri imati presudan uticaj na izbor, zavisi od subjektivne procene donosioca odluke i realne situacije u kojoj se odluka donosi. Što znači da bilo koji kriterijum može postati ključan pri izboru u zavisnosti od situacije, takođe u zavisnosti od korišćenog kriterijuma svaka od alterntiva može dominirati u odnosu na ostale. Istraživanjem konkretne situacije u preduzeću, definisan je međusobni odnos posmatranih kriterijuma na osnovu čega je definisana matrica procene kriterijuma data na Slici 2.



	KVALITET PROIZVODA	CENA	ROK ISPORUKE	GARANTNI PERIOD	REFERENCE	USLOVI PLACANJA
KVALITET PROIZVODA		2.0	3.0	5.0	6.0	2.0
CENA			3.0	5.0	7.0	2.0
ROK ISPORUKE				5.0	7.0	3.0
GARANTNI PERIOD					3.0	2.0
REFERENCE						3.0
USLOVI PLACANJA	Incon: 0.07					

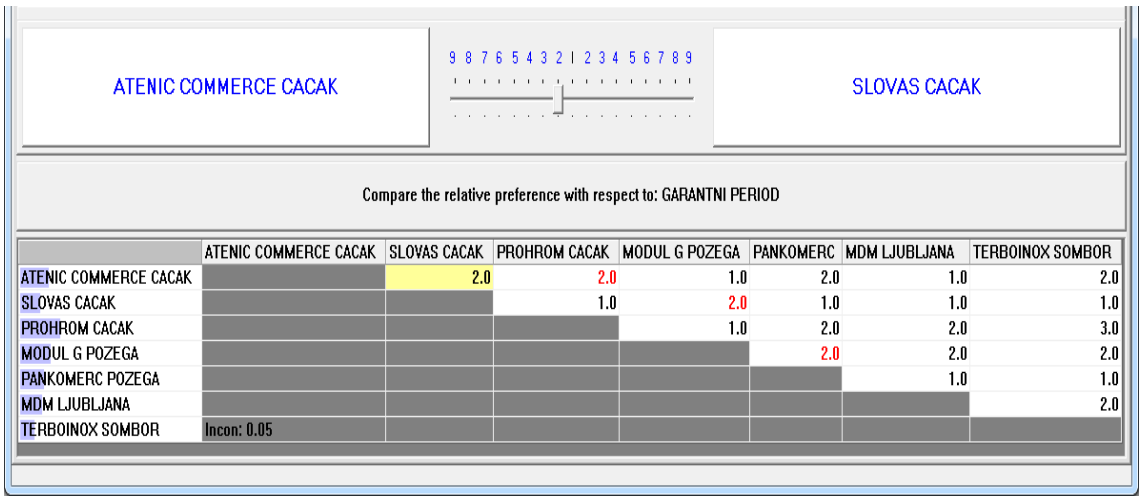
Slika 2: Matrica poređenja kriterijuma

Nakon prevođenja matrice procene u skalu prioriteta kriterijuma normalizacijom vektora težine kriterijuma dobijen je rang kriterijuma i njihov relativni značaj (Slika 3) definisan saglasno trenutnim prioritetima preduzeća MB „Fapromal“.



Slika 3: Prioritet kriterijuma

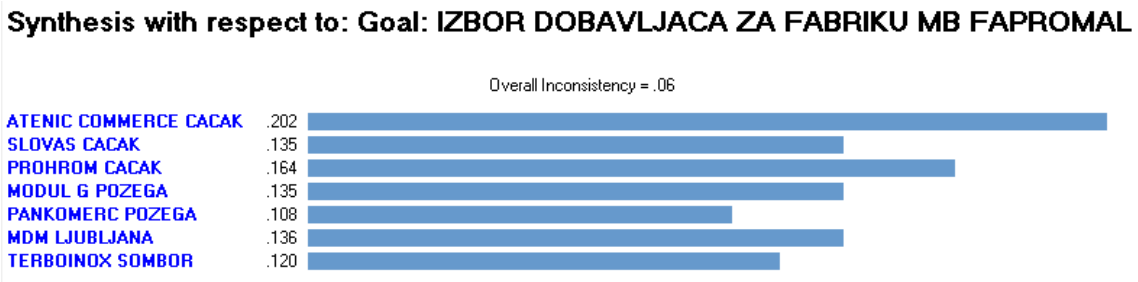
Rezultati pokazuju da će u datoj situaciji kriterijum *Kvalitet proizvoda* (0,347) biti prioritetan pri izboru, potom sledi *Rok isporuke* sa relativnim značajem 0,275, *Cena* (0,183), *Uslovi plaćanja* (0,105), dok su među manje prioritetnim kriterijumima u posmatranoj situaciji *Garantni rok* (0,057) i *Reference* (0,033). Zatim je definisan rang alternativa njihovim poređenjem prema svakom razmatranom kriterijumu pojedinačno. Preferencije dobavljača po razmatranim kriterijumima dobijene su na osnovu detaljnih razmatranja prispelih ponuda i subjektivnom procenom referenta nabavke. Na Slici 4 data je matrica poređenja alternativa prema kriterijumu *Garantni rok.*



	ATENIC COMMERCE CACAK	SLOVAS CACAK	PROHROM CACAK	MODUL G POZEGA	PANKOMERC	MDM LJUBLJANA	TERBOINOX SOMBOR
ATENIC COMMERCE CACAK		2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0
SLOVAS CACAK			1.0	2.0	1.0	1.0	1.0
PROHROM CACAK				1.0	2.0	2.0	3.0
MODUL G POZEGA					2.0	2.0	2.0
PANKOMERC POZEGA						1.0	1.0
MDM LJUBLJANA							2.0
TERBOINOX SOMBOR	Incon: 0.05						

Slika 4: Poređenje relativnih preferencija alternativa prema kriterijumu *Garantni rok*

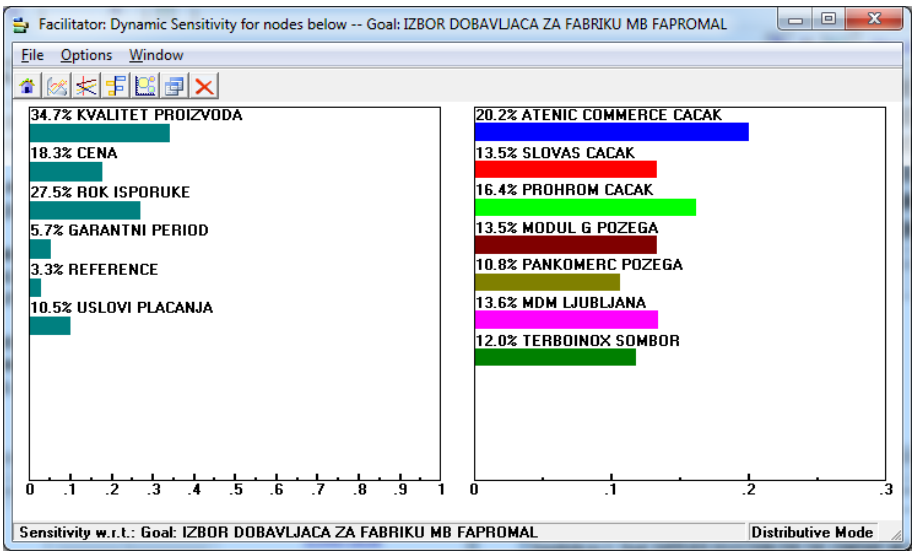
Pri proceni se uočava da su preference alternativa različite pri različitim kriterijumima pa je i rang alternativa različit u zavisnosti od primenjenog kriterijuma što znači da još uvek nemamo objektivnu sliku o sveukupnoj vrednosti svake od alternativa u odnosu na globalni cilj, pa je proces neophodno nastaviti uz uvažavanje relativnih značaja svakog pojedinačnog kriterijuma dobijenih u prethodnom delu postupka. Naime, dobijene težine alternativa pri svakom od kriterijuma treba staviti u korelaciju sa težinom datog kriterijuma, čime dobijamo konačan rang alternativa (Slika 5.).



Slika 5: Sinteza cilja

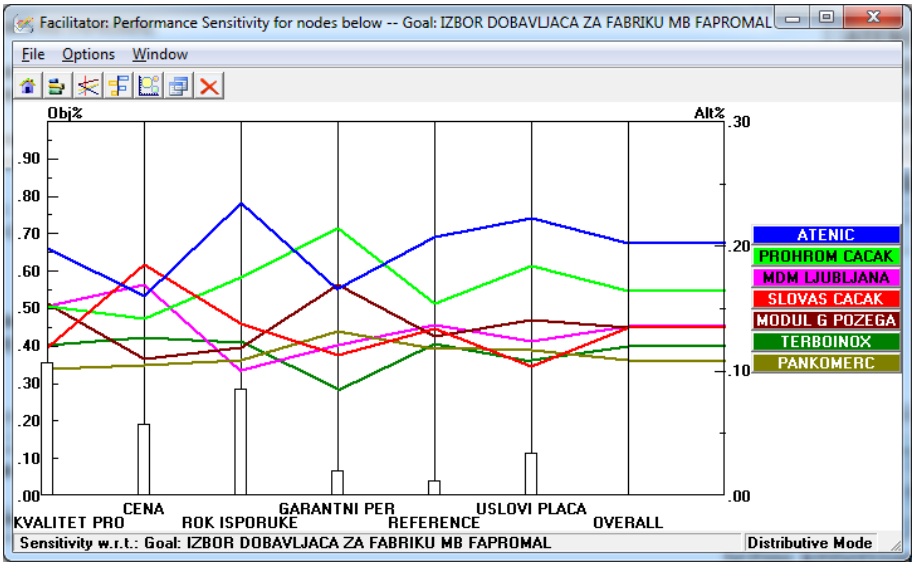
Dobijeni rezultati ukazuju da alternativa *Atenic comerc Čačak* u najvećoj meri zadovoljava postavljeni cilj (0,202) pri uvažavanju svih šest kriterijuma, što znači da bi krajnja odluka o izboru trebala da bude usmerena ka ovom dobavljaču. Sledeći po rangu prioriteta je *Prohrom Čačak* (0,164), zatim *Modul G Požega, MDG Ljubljana* i *Slovas Čačak* sa malom razlikom u dobijenim ocenama (0,136; 0,135 i 0,135). *Terboinox Sombor* (0,120) i *Pankomerc Požega* (0,108) su najslabije rangirane alernative. Ukupna nekozistentnost je manja od 1 što ukazuje da je model dobro strukturiran.

Izraženija osetljivost ranga alternativa u odnosu na manje promene u zanačaju kriterijuma, može dovesti u pitanje racionalnost donete odluke pa je za donosioca odluke važno da zna u kojoj meri je rang alternativa osetljiv u odnosu na promene u važnosti kriterijuma. Na Slici 6 dati su rezultati analize osetljivosti za posmatrani primer.



Slika 6: Grafički prikaz „Dynamic sensitivity“ analize

Najveća osetljivost krajnjeg ranga alternativa je pri promeni težine kriterijuma *Kvalitet proizvoda,* osetljivost je takođe izražena pri promeni težine kriterijuma *Rok isporuke* i *Cena,* to su ujedno i kriterijumi sa nejvećim relativnim značajem, dok je uticaj promene težine kriterijuma *Reference i Garantni rok* na rang alternativa zanemarljiv.



Slika 7: Osetljivost ranga alternativa na promene u težini kriterijuma

Prema dobijenim rezultatima (Slika 7) alternativa *Atenic comerc Čačak* je najpovoljnija u odnosu na ostale alternative prema kriterijumima *Kvalitet, Rok isporuke, Reference* i *Uslovi plaćanja.* Dok je pri kriterijumu *Garantni rok* najbolje rangirana alternativa *Prohrom Požega,* a pri kriterijumu *Cena – Slovas Čačak.*

Ovi podaci olakšavaju rešavanje nestrukturiranih problema, budući da donosioci odluka raspolažu informacijama o prioritetu alternativa pri različitim situacijama do kojih može doći u budućnosti, a koje će usloviti promenu relativnog značaja pojedinih kriterijuma.

3. ZAKLJUČAK

U radu je izložen koncept koji omogućava uspostavljanje efikasnog procesa nabavke baziran na primeni AHP metode pri izboru dobavljača. Predloženi koncept ilustrovan je na primeru izbora dobavljača repromaterijala specifične namene u preduzeću MB „Fapromal“ d.o.o. Njegova primena pruža pomoć donosiocima odluka u razlaganju ovako složenih problema odlučivanja u seriju hijerarhija čime se olakšava proces rangiranja dobavljača pri izboru i stvara uslov za donošenje racionalnih odluka doslednih realnim uslovima. Dok analiza osetljivosti omogućava lakše razumevanje efekata promene važnosti kriterijuma na rang alternativa i pomaže donosiocima da provere stabilnost donetih odluka.

Pri rešavanju ovakvih problema u poslovanju AHP metoda se pokazala kao dobro rešenje budući da uspostavlja odgovarajući balans između alternativa i sistema kriterijuma u kojima se ocenjuju čime dobijamo objektivnu sliku o ukupnoj povoljnosti svakog od dobavljača u odnosu na skup pstavljenih ciljeva, izbegnuti su i neki od čestih problema sa kojima se proizvođači susreću u ovom procesu.

LITERATURA

[1] Chan, F.T.S. & Chan, H. K. (2010). An AHP model for selection of suppliers in the fast changing fashion market. International Journal of Advanced Manufacturing, 51(4), 1195-1207.

[2] Fallahpour, A., Olugu, E. U. & Musa, S. N. (2017). A Hybrid model for supplier selection: integration of AHP and multi expression programming (MEP). Neural Computing and Applications, 28(3), 499-504.

[3] Ghorbani, M., Arabzad, M. & Shahin, A.A. (2013). Novel approach for supplier selection based on the kano model and fuzzy MCDM. International Journal of Production Research, 51(18), 5469–5484.

[4] Gülcin, B. & Fethullah G. (2017). Application of a new combined intuitionistic fuzzy MCDM approach based on axiomatic design methodology for the supplier selection problem. Applied Soft Computing, 52, 1222–1238.

[5] Hou, J. & Su, D. (2007). EJB–MVC oriented supplier selection system for mass customization. Journal of Manufacturing Technology Management, 18, 154-71.

[6] Kannan, D., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Jabbour, C. J. C. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. European Journal of Operational Research, 233(2), 432-447.

[7] Kumar Kar, A.K. & Pani, A. (2014). Exploring the importance of different supplier selection criteria. Management Research Review, 37(1), 89-105.

[8] Moses, A. (2011). Cross-functional make or buy decision process ownership. Management Research Review, 34(9), 1042-1060.

[9] Radojičić, M., Žižović, M., Nešić, Z. & Vesić Vasović, J. (2013). Modified approach to PROMETHEE for multi-criteria decision-making. Maejo International Journal Science and Technology, 7(3), 408-421.

[10] Rausch, E. (2007). The Critical Need for coverage of quality decision making in professional and management education. Journal of Enterprise Information Management, 20(1), 9–13.

[11] Shu-pin, W., Gai-li X. & Jiu-ying, D. (2017). Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. Information Sciences, 385–386.

[12] Vesić Vasović J., Radojičić, M., Klarin, M. M. & Spasojević Brkić, V. K. (2011). Multi-criteria approach to optimization of enterprise production programme in Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: Journal of Engineering Manufacture, 225(10), 1951-1963.

[13] Vesić Vasović, J., Radojičić, M., Popović, P. & Nešić, Z. (2015). Increase of Efficiency of MCDM Process in the Selection of Development Investment Projects. Proceedings of the International Working Conference Total Quality Management - Advanced and Inteligent Approaches, Mechanical engineering faculty, Belgrade, Serbia, 123-128.

[14] Xu, L., Kumar, T. D., Shankar, M. K., Kannan, D. & Chen, G. (2013). Analyzing Criteria and sub-criteria for the corporate social responsibility-based supplier selection process using AHP. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68, 907–916.

[15] Yadav, V. & Sharma, M. K. (2015). Multi-criteria decision making for supplier selection using fuzzy AHP approach", Benchmarking: An International Journal, 5(1), 326-354

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

STABLO AKCIJSKIH PROMENA ZA KOREKCIJU TEŽINSKIH KOEFICIJENATA

TREE OF ACTION CHANGES FOR CORRECTIONS OF WEIGHTED COEFFICIENTS

MLADEN JANJIĆ[1], MALIŠA ŽIŽOVIĆ[1,2], NADA DAMLJANOVIĆ[1], KATARINA PAVLOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, mjanjic@gmail.com, zizovic@gmail.com, nada.damljanovic@ftn.kg.ac.rs, katarina.tasic@ftn.kg.ac.rs
[2] Univerzitet singidunum, Fakultet zdravstvenih, pravnih i poslovnih studija

Rezime: *U ovom radu, je data metodologija za korekciju težinskih koeficijenata koji se izračunavaju po novoj metodi za određivanje težinskih koeficijenata (Miljković, B. i dr., 2017). Predložena metodologija je bazirana na analogonu Lundbergovog modela za organizacione promene.*

Ključne reči: *Višekriterijumski model, težinski koeficijenti Lundbergov model.*

Abstract: *In this paper, we give a methodology for corrections of weighted coefficients obtained by new method for calculation of weighted coefficients (Miljković, B. et al., 2017). Suggested methodology is based on Lundberg's model for organizational changes.*

Keywords: *Multi-criteria model, weighted coefficients, Lundberg's model.*

1. UVOD

Lundbergov model je poznato sredstvo (proces) za sprovođenje organizacionih promena. Ovaj model baziran je na selekciji koju sprovodi rukovodilac na osnovu:

- zadatog skupa pitanja $\{X_i, i \in I\}$ koja se postavljaju pred aktera organizacionih promena,
- skupa tačaka $\{Y_j, j \in J\}$ kojima se definiše strategija odlučivanja u procesu organizacionih promena,
- stabla odlučivanja kojim se definiše funkcija raščlanjavanja.

Akter organizacionih promena, kroz pitanja i odgovore, na osnovu stabla odlučivanja definiše putanju organizacionih promena (pravila za sprovođenje organizacionih promena). Detaljnije o Lundbergovom modelu može se videti u Lundberg, C. (1990) i Cvijanović, J. (1992, 2004).

U ovom radu prikazaćemo kako se može formirati analogon Lundbergovog modela koji bi se koristio za određivanje vrednosti težinskih koeficijenata pri višekriterijumskom odlučivanju. Pretpostavićemo da su na početku procesa načelno određene vrednosti težinskih koeficijenata od strane donosioca odluke i analitičara. Sa ciljem donošenja kvalitetnih odluka, ti težinski koeficijenti, po pravilu, treba da se provere od strane kompetentnog menadžera koga će delegirati donosioc odluke. Prirodna je pretpostavka da je taj menadžer, tzv. delegirani donosioc odluka, kompetentan da to uradi, kao i da ima ovlašćenje da to uradi.

2. O METODU ZA ODREĐIVANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA

Postoji veliki broj metoda višekriterijumskog odlučivanja dostupnih u literaturi. Neki od najčešće korišćenih pristupa su Model težinskih suma (Fishburn, P. C., 1967), Model težinskih proizvoda (Bridgman, P. W.,1922, Miller, D. W., Starr, M. K., 1969), Analitički hijerarhijski proces (Saaty, T. L., 1980, 1983, 1990, 1994), ELECTRE metoda (Benayoun, R., Roy, B. and Sussman, N.,1966, Roy, B.,1996), TOPSIS metoda (Hwang, C. L., Yoon, K., 1981), PROMETHEE metoda (Brans, J. P. ,Vincke, Ph., 1985), VIKOR metoda (Opricović, S., 1998), i druge. Postoji takođe veći broj radova koji se bavi poređenjem karakteristika i performansi ovih metoda. Za prikaz dostupnih metoda rešavanja problema višekriterijumskog odlučivanja pogledati (Figueira i dr. 2005, Hwang, C. L., Yoon, K., 1981, Radojičić, M., Žižović, M. R. 1998, Triantaphyllou E., 2000 i Zeleny, M., 1982), a za uvid u praktične primene videti Huang, I. B. i dr. (2011).

Metode višekriterijumskog odlučivanja razlikuju se u procesu normalizacije koji se koristi da se kriterijumi konvertuju u iste jedinice unutar iste skale (intervala) (Celen, A., 2014, Jahan, A., i dr. 2012, Milani, A.S. i dr. 2005), zatim u težinskim tehnikama koje se koriste za određivanje značaja kriterijuma (Saaty, T. L., 1994, Zardari, N. H., 2015), a potom i po vrsti i tipu funkcije koja se koristi za agregaciju vrednosnih funkcija dodeljenih svakom kriterijumu Grabisch, M. (2015), itd. Sve ovo utiče na složenost metoda.

U praktičnim problemima vezanim za procese selekcije i ocenjivanja različiti kriteirjumi imaju najčešće različit značaj. Važnost kriterijuma izražava se težinskim koeficijentima u normalizovanom obliku (suma svih težinskih koeficijenata je 1). Ovo se može uraditi direktno – stepen važnosti kriterijuma definišu eksperti iz oblasti, ili indirektno – stepen važnosti kriterijuma izračunava se na osnovu samih alternativa.

Težinski koeficijenti pridruženi kriterijumima u višekriterijumskom modelu igraju veoma važnu ulogu u formiranju konačnog ranga alternativa jer se njima izražavaju preferencije donosioca odluke, mogućnosti donosioca odluke, kao i njegove želje.

U ovom radu ukazaćemo na mogućnost izračunavanja težinskih koeficijenata u višekriterijumskom modelu na osnovu nove metode Miljković, B. (2017) i njihove korekcije na osnovu analogona Lundbergovog modela. Na početku, daćemo kratak opis nove procedure date u Miljković, B. (2017).

Posmatraćemo višekriterijumski model za rangiranje m alternativa $(A_1, A_2, \ldots, A_m)$ na osnovu n kriterijuma $(C_1, C_2, \ldots, C_n)$. U ovom modelu, stepen sa kojim alternativa A_i $(i = 1, \ldots, m)$ zadovoljava kriterijum C_j $(j = 1, \ldots, n)$ označavamo sa a_{ij}. Zadržavajući opštost, možemo pretpostaviti da su kriterijumi ragirani na osnovu značaja (važnosti) za proces odlučivanja, počev od od najznačajnijeg kriterijuma C_1 do najmanje značajnog kriterijuma C_n.

Ova metoda se bazira na međusobnom upoređivanju najznačajnijeg kriterijuma C_1 i ostalih $n-1$ kriterijuma $C_2, \ldots, C_n$.

Dakle, neka $p_{1k} \in (0,100], (k = 2, \ldots, n)$ predstavlja vrednost značaja kriterijuma C_1 u odnosu na kriterijum C_k, i ta vrednost je veća ili jednaka od 50. Dalje, $p_{k1} = 100 - p_{1k}$ predstavlja vrednost značaja kriterijuma C_k u odnosu na kriterijum C_1. Ove vrednosti date su u Tabeli 1.

Tabela 1. *Najznačajniji kriterijum u poređenju sa drugim kriterijumima*

p_{12}	p_{13}	p_{14}	$\cdots$	p_{1n}
p_{21}	p_{31}	p_{41}	$\cdots$	p_{n1}

Ova tabela predstavlja osnovu za određivanje težinskih koeficijenata novom metodom jer se svi ostali odnosi između kriterijuma mogu jednostavno izračunati. Zbog toga je jako važno da se vrednosti u ovoj tabeli ispravno odrede.

Kao što smo pretpostavili, kriterijumi $C_1, \ldots, C_n$ su navedeni po redosledu značaja, pa je kriterijum C_i većeg ili jednakog značaja u odnosu na kriterijum C_{i+1}, za svako $i = 1, \ldots, n-1$. Sada, koristeći Tabelu 1, možemo izračunati vrednosti značaja kriterijuma C_2 u odnosu na kriterijume $C_3, \ldots, C_n$, i dalje, vrednosti značaja kriterijuma C_3 u odnosu na kriterijume $C_4, \ldots, C_n$, i tako redom, na kraju vrednost značaja kriterijuma C_{n-1} u odnosu na kriterijum C_n. Ova procedura se može opisati sledećom rekurzivnom formulom:

$$p_{j+1,k} = \frac{100(p_{jk} : p_{kj}) : (p_{j,j+1} : p_{j+1,j})}{1 + (p_{jk} : p_{kj}) : (p_{j,j+1} : p_{j+1,j})},$$

$$p_{k,j+1} = 100 - p_{j+1,k}, \tag{1}$$

$$j = 2, \ldots, n-1, k = j+1, \ldots, n.$$

Na ovaj način možemo formirati trougaonu Tabelu 2 u kojoj su prikazani međusobni odnosi između kriterijuma.

Tabela 2. *Međusobni odnosi kriterijuma*

p_{12}	p_{13}	p_{14}	$\cdots$	$p_{1,n-1}$	p_{1n}
p_{21}	p_{31}	p_{41}	$\cdots$	$p_{n-1,1}$	p_{n1}
	p_{23}	p_{24}	$\cdots$	$p_{2,n-1}$	p_{2n}
	p_{32}	p_{42}	$\cdots$	$p_{n-1,2}$	p_{n2}
		p_{34}	$\cdots$	$p_{3,n-1}$	p_{3n}
		p_{43}	$\cdots$	$p_{n-1,3}$	p_{n3}
			$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
				$p_{n-2,n-1}$	$p_{n-2,n}$
				$p_{n-1,n-2}$	$p_{n,n-2}$
					$p_{n-1,n}$
					$p_{n,n-1}$

Pri tom za svako $j = 1,2,\ldots,n-1$, važe sledeće nejednakosti:

$$50 \le p_{j,j+1} \le p_{j,j+2} \le \cdots \le p_{j,n} < 100 \quad \text{i} \quad 50 \ge p_{j+1,j} \ge p_{j+2,j} \ge \cdots \ge p_{n,j} > 0 . \tag{2}$$

Za svaki kriterijum C_j $(j = 1,2,\ldots,n)$, značaj tog kriterijuma u procesu odlučivanja određuje se pomoću težinskog koeficijenta W_j na sledeći način:

$$W_j = \frac{\sum_{k=1,k\neq j}^{n} p_{jk}}{50n(n-1)} . \tag{3}$$

Ovako uvedeni težinski koeficijenti zadovoljavaju sledeća svojstva:

(i) $\sum_{j=1}^{n} W_j = 1$,

(ii) $W_1 \ge W_2 \ge \cdots \ge W_n$,

(iii) $W_1 = \cdots = W_n = \frac{1}{n}$ *ako i samo ako je* $p_{ij} = 50$, *za sve* $i, j = 1,2,\ldots,n, i \neq j$.

2. ANALOGON LUNDBERGOVOG MODELA

Polazeći od ideje koju je dao Lundberg, C. (1990) za organizacione promene, ovde ćemo dati analogon Lunderbergovog modela koji će se primenjivati na vrednosti prikazane u Tabeli 1. Pretpostavićemo da su vrednosti u Tabeli 1 inicijalne vrednosti koje su dali donosilac odluke i analitičar, i da te vrednosti podležu preispitivanju, odnosno utvrđivanju da li one u potpunosti odgovaraju realnom stanju problema, željama i mogućnostima donosioca odluke.

Analogon Lundbergovom modelu za promenu inicijalnih vrednosti težinskih koeficijenata sadrži:

- Moguće akcije promene vrednosti iz Tabele 1, koje ima na raspolaganju delegirani donosioc odluke $\{Y_1,\ldots,Y_9\}$, date su u Tabeli 3.
- Skup pitanja $\{X_1,\ldots,X_{10}\}$ koja se postavljaju delegiranom donosiocu odluke, dati su u Tabeli 4.
- Stablo akcijskih promena, prikazano grafom na Slici 1, koji određuje vektore uslova i izbor pitanja (daje rešenje iz skupa Y u zavisnosti od odgovora na pitanja iz skupa X).

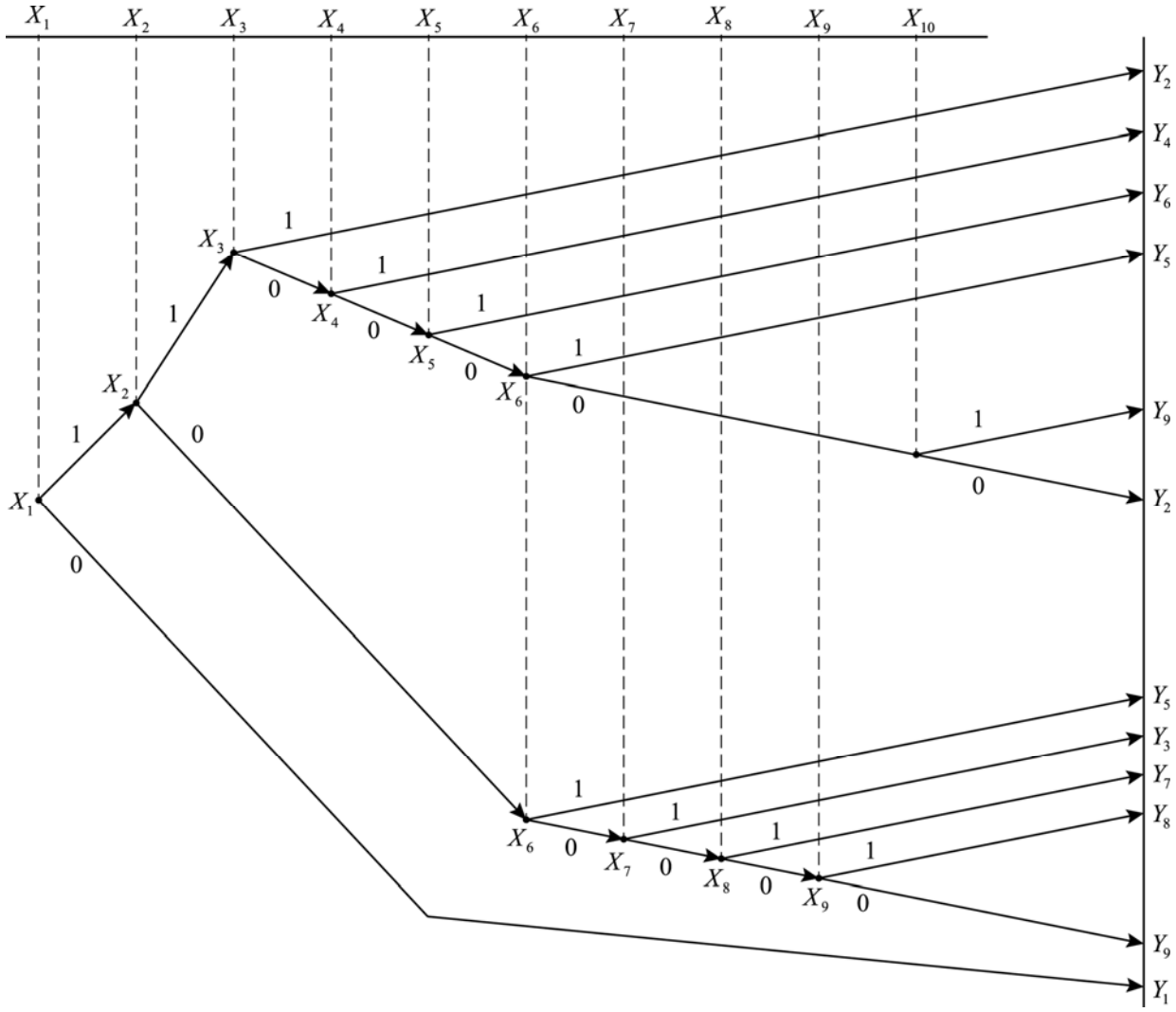
Tabela 3: *Moguće akcije promene vrednosti iz Tabele 1.*

	Akcijske promene
Y_1	Ne menjati vrednosti u Tabeli 1.
Y_2	Izvršiti promenu vrednosti u Tabeli 1 (donosioc odlučivanja, odnosno menadžer koga ovaj delegira (delegirani donosioc odlučivanja), direktno daje rešenje).
Y_3	Za vrednosti iz Tabele 1 se pitaju menadžeri sa višeg nivoa odlučivanja, jer oni imaju pristup informacijama koje nisu dostupne donosiocu odlučivanja.
Y_4	Formira se „ad hok“ komitet da sugeriše prednosti (ovo radno telo je sastavljeno od kolega donosioca odluke koji su na istom ili nižem hijerarhijskom nivou, i njihov zadatak je da sagledaju problem i daju svoje viđenje problema, ali oni nisu ovlašćeni da definišu vrednosti u Tabeli 1).
Y_5	Zadužiti stalni komitet (stalno radno telo koje postoji od ranije i čine ga analitičari koji se bave analizom i proračunom na osnovu kojih se delegiranom donosiocu odluka daje savet i sugestija, konačnu odluku donosi delegirani donosilac odluke).
Y_6	Formira se radna grupa od menadžera istog nivoa kao delegirani donosilac odluke sa ciljem da daju predlog vrednosti u Tabeli 1 i razloge za i protiv tih vrednosti. Odluku donosi delegirani donosilac odluke.
Y_7	Kontaktirati konsultante (ljudi od struke izvan organizacije), koji su saglasni da delegiranog donosioca odluke snadbevaju preporukama (informacijama).
Y_8	Kontaktirati veću grupu konsultanata (ljudi od struke izvan organizacije, salgasnih da delegiranog donosioca odluke snadbevaju preporukama (informacijama) po principima Delfi metode.
Y_9	Konsultovati glavnog donosioca odluke i analitičara, i dati prinudno rešenje.

Tabela 4: *Pitanja koja se postavljaju delegiranom donosiocu odluke*

	Pitanja
X_1	Da li treba menjati vrednosti u Tabeli 1?
X_2	Da li menadžer/delegirani donosioc odlučivanja precizno zna koje vrednosti u Tabeli 1 treba menjati i za koliko?
X_3	Da li menadžer/delegirani donosioc odlučivanja ima vremena da eksperimentiše sa vrednostima u Tabeli 1?
X_4	Da li menadžer/delegirani donosioc odlučivanja može formirati „ad hok“ komitet za pomoć?
X_5	Da li menadžer/delegirani donosioc odlučivanja može formirati radnu grupu za pomoć?
X_6	Da li menadžer/delegirani donosioc odlučivanja može odlučivanje prebaciti na viši nivo odlučivanja?
X_7	Da li postoji stalni komitet za donošenje odluke ove vrste i ima vremena i mogućnosti za rešavanje ovog problema?
X_8	Da li je moguće ugovoriti konsultante i postoji li vreme i novac za to?
X_9	Da li je moguće ugovoriti rad sa timom eksperata za rešavanje ovog problema, ima li vremena i novca za to?
X_{10}	Postoji li ozbiljno vremensko ograničenje ili nesaglasnost za rešavanje problema?

Veza između odgovora na pitanja i akcija koje treba napraviti može se šematski prikazati analogno kao što je to učinjeno originalnoj Lundbergovoj metodi (o čemu se može detaljno videti u knjizi Cvijanović, J. 2004). Te veze su prikazane sledećim stablom akcijskih promena.



Slika 1: *Stablo akcijskih promena*

5. ZAKLJUČAK

Iz prethodng izlaganja se vidi da se metodologija koju je Lundberg, C. (1990) dao za organizacione promene i koja je preporučena u Cvijanović (2004), može uspešno primeniti i u slučaju korekcije vrednosti odnosa najjačeg kriterijuma prema ostalim kriterijumima, a na osnovu čega se kasnije računaju novi težinski koeficijenti za rešavanje nekog problema višekriterijumske analize.

LITERATURA

[1] Brans, J. P. ,Vincke, Ph. (1985). A preference ranking organization method. Management Science 31, 647-656.

[2] Bridgman, P. W. (1922). Dimensional Analysis. Yale University Press, New Haven, CN.

[3] Benayoun, R., Roy, B. and Sussman, N. (1966). Manual de reference du programme electre. Note de Synthese et Formation, No. 25, Direction Scientifique SEMA, Paris, Franch.

[4] Celen, A., (2014). Comparative Analysis of Normalization Procedures in TOPSIS Method: With an Application to Turkish Deposit Banking Market. Informatica 25 (2), 185-208.

[5] Cvijanović, J. (1992), Dometi i ograničenja Lundbergovog modela iniciranja organizacionih promena u preduzeću, Industrija, Vol 19. Br. 2-3, 71-80.

[6] Cvijanović, J. (2004). Organizacione promene, Ekonomski institut, Beograd.

[7] Figueira, J. , Greco, S., Ehrgott, M. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer Verlag.

[8] Fishburn, P. C. (1967). Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments. Operations Research Society of America (ORSA) Publication, Baltimore, MD.

[9] Grabisch, M., Marichal, J. L., Mesiar, R., Pap, E. (2009). Aggregation Functions (Encyclopedia of Mathematics and its Applications). Cambridge University Press New York, NY, USA.
[10] Huang, I. B., Keisler, J., Linkov, I. (2011). Multicriteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. Science of the Total Environment 409 (19), 3578-3594.
[11] Hwang, C. L., Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making methods and applications, Spriner-Verlag, Berlin.
[12] Jahan, A., Mustapha, F., Sapuan, S. M., Ismail, M. J., Bahraminasab, M. (2012). A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 58(14), 411-420.
[13] Jahan, A., Edwards, K. L. (2015). A state-of-the-art survey on the influence of normalization techniques in ranking: Improving the materials selection process in engineering design. Materials and Design 65, 335–342.
[14] Lundberg, C. (1990). Towards a Manager's Model for Initiating Change Projects. Journal of Organizational Change Management, Vol. 3 Iss. 1, 6-14.
[15] Milani, A.S., Shanian, A., Madoliat, R. , Nemes, J.A. (2005). The effect of normalization norms in multiple attribute decision making models: a case study in gear material selection. Structural and Multidisciplinary Optimization 29 (4), 312–318.
[16] Miller, D. W., Starr, M. K. (1969). Executive Decisions and Operations Research. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
[17] Miljković, B., Žižović, M. R., Petojević, A., Damljanović, N. (2017). NewWeighted Sum Model. Filomat 31 (10), 2991–2998.
[18] Opricović, S. (1998). Multicriteria Optimization in Civil Engineering. Faculty of Civil Engineering, Belgrade (Monograph in Serbian).
[19] Radojičić, M., Žižović, M. R. (1998). Applications of methods of multi-criteria analysis in business decision-making. Technical faculty in Čačak, Serbia (Monograph in Serbian).
[20] Roy, B. (1996). Multicriteria methodology for decision aiding, Dordecht: Kluwer Academic Publishers.
[21] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill International, New York, NY, U.S.A.
[22] Saaty, T. L. (1983). Axiomatic foundations of the Analytic Hierarchy process. Management Science 32 (2), 841–855.
[23] Saaty, T. L. (1990). An exposition of the AHP in reply to the paper ’Remarks on the Analytic Hierarchy Process. Management Science 36 (3), 259–268.
[24] Saaty, T. L. (1994). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP. RWS Publications, Pittsburgh, PA, USA.
[25] Triantaphyllou E. (2000). Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
[26] Zardari, N. H., Sharif, K. A., Shirazi, M., Yusop, Z. B. (2015). Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London.
[27] Zeleny, M. (1982). Multiple Criteria Decision Making. McGrawHill, New York.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRIMENA AHP METODE U REALIZACIJI NABAVKI[1]

APPLICATION OF THE AHP METHOD IN THE PROCUREMENT REALIZATION

MILAN MIHAJLOVIĆ[1], SNEŽANA KRSTIĆ[1], RADOVAN DAMNJANOVIĆ[2]

[1] Univerzitet odbrane, Vojna akademija, milan.mih83@gmail.com
[2] Generalštab Vojske Srbije, Ministarstvo odbrane Republike Srbije.

Rezime: *Obezbeđenje zadovoljavajućeg nivoa operativnih sposobnosti, kao osnovni zadatak sistema odbrane se, između ostalog, ostvaruje efikasnim sprovođenjem javnih nabavki putem kojih se obezbeđuju neophodni resursi. Stalno rastuće potrebe, koje su posledica neophodnosti modernizacije jedinica Vojske Srbije, nameću zahtev za što efikasnijom ulogom Vojske Srbije u funkciji poslovnog subjekta, a koja se manifestuje preko efikasnog sprovođenja nabavki. U postupku javnih nabavki značajno je odrediti sigurnost izvršenja zaključenog ugovora. Cilj ovog rada je da se pokaže kako primenom metode analitičko hijerarhijskih procesa (AHP) može da se odredi značajnost kriterijuma na osnovu kojih se vrši rangiranje ponuđača u postupcima nabavki za potrebe sistema odbrane.*

Ključne reči: *nabavke, kriterijumi, metoda analitičko-hijerarhijskih procesa.*

Abstract: *Securing a satisfying level of operational capabilities as a basic task of the defence system is, among other things achieved by efficient implementation of public procurements through which necessary resources are secured. Constantly growing needs, a consequence of the necessity of modernizing the Serbian Military, impose a demand for an efficient role of the Serbian Military as a business subject, which is manifested through efficient implementation of procurements. It is necessary to determine the safety in execution of a concluded contract in the procedure of a public procurement. The aim of this paper is to show how the application of Analytic Hierarchic Process (AHP) can help determine the significance of criteria based on which ranking of bidders in defence system procurements is performed.*

Keywords: *procurement, criteria, method of analytical-hierarchical processes.*

1. UVOD

Finansiranje odbrane, kao dela ukupne javne potrošnje, u visokom stepenu opredeljuju potrebe sprovođenja javnih nabavki. Poslednja decenija pokazuje da oko 30-40% budžeta Vojske Srbije čine izdaci za javne nabavke materijalnih dobara, radova i usluga, radi zadovoljenja različitih potreba kako Vojske Srbije, tako i sistema odbrane u celini.

Za Republiku Srbiju, javne nabavke predstavljaju važan segment tržišta imajući u vidu obim troškova za javne nabavke (oko 10% BDP-a). Otuda i potreba ostvarivanja pune kontrole zakonitosti procesa realizacije javnih nabavki i namenskog trošenja raspoloživih novčanih sredstava (Ćurčić 2016). Ista činjenica ukazuje na to da je javni sektor glavni potrošač za sve sektore ekonomije (Štiglic 2013). Problem javnih nabavki, uključujući zakonodavni okvir, izvršavanje regulatornih funkcija, režim sprovođenja, sposobnost institucija javnog sektora da upravljaju javnim nabavkama, sastavni je deo i Strategije za tranzicionu podršku Svetske Banke.

Istraživanje efikasnosti je od suštinskog značaja za svaku delatnost, pa i Vojsku Srbije, jer u sebi sadrži i povezuje ciljeve te delatnosti, resurse i transformiše procese koji predstavljaju osnovu za realizaciju ciljeva. Razmatranje efikasnosti nabavne funkcije u Vojsci Srbije ne može se apstrahovati od uticaja i drugih funkcija u sistemu snabdevanja (planiranje i odobravanje novčanih sredstava, planiranja nabavki i izvršenje finansiranja). Oni su preduslovi za realizaciju javnih nabavki, a ne može se apstrahovati ni u odnosu na ukupna privredna kretanja, a posebno praćenje i prilagođavanje savremenim tržišnim kretanjima.

[1] Ovaj članak je proistekao iz istraživačkog rada u okviru projekta "Razvoj finansijske službe Vojske Srbije od 1985. do 2015. godine" koji se finansira sredstvima Ministarstva odbrane Republike Srbije. Projekat se vodi pod evidencionim brojem VA-DH5/17-19.

Upravo cilj ovog rada je da ukaže na mogućnost povećanja efikasnosti realizacije nabavki za potrebe sistema odbrane korišćenjem AHP metode, kao jedne od metoda višekriterijumske optimizacije, prilikom utvrđivanja značaja kriterijuma koji se koriste pri izboru najpovoljnijeg ponuđača.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Problem određivanja značajnosti kriterijuma u realizaciji nabavke za potrebe Vojske Srbije, obuhvata više pojmova koje je potrebno na početku definisati. Izbor najpovoljnijeg ponuđača je cilj ovog problema.

Pojam kriterijuma zauzima važno mesto u postupku odlučivanja o najpovoljnijoj ponudi. Kreterijum kao pojam se odnosi na atribute koji su vezani za alternative između kojih se vrši izbor. Mogu se podeliti na kvalitativne i kvantitativne kriterijume, u zavisnosti od stepena merljivosti. Kvantitativni kriterijumi se mogu precizno meriti i izražavaju se različitim mernim jedinicama. Kvalitativni kriterijumi se ne mogu izraziti u mernim jednicama. Oni se mogu svrstati u dve podgrupe: atributi čije vrednosti ne mogu precizno da se mere, ali se ipak mogu rangirati po „intenzitetu“ i atributi na osnovu kojih ne može da se vrši nikakvo kvantitativno poređenje alternativa. Postoji dosta načina za prevođenje kvalitativnih vrednosti kriterijuma u kavntitativne. Najčešće korišćene skale su: redna skala, interval skala i skala odnosa. Drugi kriterijum koji se takođe koristi za podelu kriterijuma odlučivanja jeste smer korelacije njihovih vrednosti i korisnosti koje pružaju. Prema smeru slaganja se razlikuju: prihodni kriterijumi; rashodni kriterijumi i nemonotoni kriterijumi.(Pavličić 2010)

Postoje brojne metode za rešavanje modela višekriterijumskog odlučivanja koje se mogu podeliti na osnovu više kriterijuma, a kao najbolje u današnje vreme se izdvajaju: metod ELECTRE; metod PROMETHEE; metod AHP (analitičko hijerarhijskih procesa); metoda TOPSIS; metoda SAW; metoda DEMATEL i dr.(Čupić i Suknović 2010)

Za potrebe istraživanja koristiće se AHP metoda, koja predstavlja metodu višekriterijumskog odlučivanja, kreiranu radi pružanja pomoći donosiocima odluka u rešavanju kompleksnih problema odlučivanja u kojima učestvuje veći broj donosilaca odluka, veći broj kriterijuma i u višestrukim periodima. Metodološki posmatrano AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiju. Metoda analitičko-hijerarhijskih procesa drži sve delove hijerarhije u vezi, tako da je jednostavno videti kako promena jednog faktora utiče na ostale faktore.

Proces rešavanja problema odlučivanja često je veoma kompleksan zbog prisustva konfliktnih ciljeva među raspoloživim kriterijumima ili alternativama. Problem je izabrati alternativu koja će na najbolji način zadovoljiti postavljene ciljeve. Oblast primene ove metode je višekriterijumsko odlučivanje gde se na osnovu definisanog skupa kriterijuma i vrednosti atributa za svaku alternativu vrši izbor najprihvatljivije. Radi lakše primene ove metode razvijen je softverski alat iz sistema za podršku odlučivanju Expert Choice.

3. PRIMENA AHP METODE ZA ODREĐIVANJE ZNAČAJNOSTI KRITERIJUMA U REALIZACIJI NABAVKI ZA POTREBE SISTEMA ODBRANE

Korišćenjem postupka AHP metode izvršena je analiza podataka do kojih smo došli istraživanjem 60 nabavki sprovedenih u jedinicama Vojske Srbije koje su bile upotrebljene na saniranju posledica i pružanju pomoći stanovništvu nakon poplava 2014. godine. Nabavke su se odnosile na tehnička sredstva, a za potrebe istraživanja su bile grupisane u tri kategorije. Prvu kategoriju je predstavljalo 20 nabavki realizovanih otvorenim postupkom kod kojih je kao kriterijum posmatrana najniža ponuđena cena. Drugu kategoriju je činilo 20 nabavki realizovanih otvorenim postupkom kod kojih je kao kriterijum uzeta ekonomski najpovoljnija ponuda gde su kao elementi ovog kriterijuma korišćeni cena sa 80% i kvalitet 20%. U treću kategoriju je svrstano 20 nabavki realizovanih pregovaračkim postupkom sa objavljivanjem poziva za podnošenje ponuda u kojem je kao kriterijum uzeta ekonomski najpovoljnija ponuda sa elementima: rok isporuke i obaveze u pogledu rezervnih delova.

Imjući u vidu da postoje različiti elementi kriterijuma u zavisnosti od predmeta javne nabavke, u modelu su uzeti oni koji su najbitniji za ostvarivanje sposobnosti pravovremene raspoloživosti snaga u realizaciji operacije pružanja pomoći civilnim vlastima u slučaju elementarnih nepogoda, a koji su na osnovu toga ponderisani. Kriterijumi na osnovu kojih se vrši vrednovanje alternativa u ovom slučaju su:

Tabela 1: Kriterijumi za izbor optimalnog ponuđača

Oznaka kriterijuma	Opis kriterijuma
K_1	Brizina realizacije nabavki koja se posmatra od trenutka zaključenja ugovora, pa do vremena isporučivanja sredstva jedinici.
K_2	Kvalitet je takođe bitan element prilikom odabira najpovoljnijeg

	ponuđača. Kvalitet opreme, koja se nabavlja, treba utvrditi na osnovu dva opšta kvalitativna svojstva: tehničko-tehnološkog i funkcionalnog.
K_3	Stepen izvršenja nabavke koji se izražava procentualno i izračunava nakon isteka ugovorenog perioda.
K_4	Sigurnost isporuke se odnosi na vreme realizovanja nabavke. Potrebno je voditi računa o usaglašenosti rokova sa potrebama za potrošnjom.

Primenom Delfi metode(Žižić *et al*. 2003)[2], ocenjene su vrednosti kriterijuma i njihove relativne težine:
K_1 – brzina realizacije nabavke (0,30),
K_2 – kvalitet (0,20),
K_3 – stepen izvršenja nabavke (0,20) i
K_4 – sigurnost isporuke (0,30).

Matrica odlučivanja u ovom slučaju prikazana je u tabeli 2:

Tabela 2: Matrica odlučivanja

Alternative	**Kriterijumi**			
	Brzina realizacije nabavki	**Kvalitet**	**Stepen izvršenja nabavke**	**Sigurnaost isporuke (broj dana)**
Kategorija 1	5	zadovoljava	4	50
Kategorija 2	4	zadovoljava	5	40
Kategorija 3	5	U potpunosti zadovoljava	3	60

Kvantifikovanjem ove matrice, korišćenjem Saaty-jeve skale(Saaty, 1980) devet tačaka za dodeljivanje težina dobijena je matrica prikazana u tabeli 3:

Tabela 3: Kvantifikovani ulazni podaci

Alternative	**Kriterijumi**			
	Brzina realizacije nabavki	**Kvalitet**	**Stepen izvršenja nabavke**	**Sigurnost isporuke (broj dana)**
Kategorija 1	5	7	4	50
Kategorija 2	4	7	5	40
Kategorija 3	5	9	3	60

3.1. Procena relativnih težina

Na početku obrade problema potrebno je poći od određivanja relativnih težina kriterijuma, odnosno značajnosti kriterijuma.

Tabela 4: Procena relativnih težina kriterijuma (obračun autora)

Kriterijumi	**Brzina realizacije nabavki**	**Kvalitet**	**Stepen izvršenja nabavke**	**Sigurnost isporuke (broj dana)**
Brzina realizacije nabavke	1	5	5	3

[2] Odabrani panel sastojao se od pet stručnjaka (imena eksperata poznata autoru) sa radnim iskustvom kraćim od deset godina na poslovima sprovođenja javnih nabavki. Njihove konačne ocene služe u određivanju iskustvenih vrednosti pojedinačnih kriterijuma.

Kvalitet	(5)	1	3	(5)
Stepen izvršenja nabavke	(5)	(3)	1	(5)
Sigurnost isporuke	(3)	5	5	1
Σ	1,733	11,333	14	4,4

Tabela 5: Računanje sopstvenog vektora odgovarajućih sopstvenih vrednosti

Kriterijumi	Brzina realizacije nabavki	Kvalitet	Stepen izvršenja nabavke	Sigurnost isporuke (broj dana)	Σ	W(Σ/4)
Brzina realizacije nabavke	0,577	0,441	0,357	0,681	2,056	0,514
Kvalitet	0,115	0,088	0,214	0,045	0,462	0,115
Stepen izvršenja nabavke	0,115	0,029	0,071	0,045	0,260	0,065
Sigurnost isporuke	0,192	0,441	0,357	0,227	1,217	0,304

Poređenjem vrednosti težina kriterijuma koje se dobijaju korišćenjem Saaty-jeve skale (ocena eksperata sa iskustvom dužim od deset godina na poslovima realizacije javnih nabavki) i vrednosti dobijene primenom Delfi metode može se zaključiti da kriterijum brzina ralizacije nabavke u odnosu na njegovu važnost koja mu je data u praksi je precenjen. Za razliku od njega kriterijumu stepen izvršenja nabavke treba dati veću važnost, što potvrđuje dobijeni rezultat. Kriterijumi kvalitet i sigurnost isporuke dobro su procenjeni u praksi o čemu govore dobijeni podaci. Imajući u vidu veće iskustvo ekperata koji su koristili Saaty-jevu skalu, prilikom ocenjivanja kriterijuma njihovi rezultati će se koristiti kao verodostojniji u proceni alternativa.

Na osnovu podataka dobijenih procenom relativnih težina kriterijuma treba sagledati istim postupkom alternative koje stoje na raspolaganju, odnosno tri kategorije nabavki. Međusobno poređenje alternativa, vršiće se Saaty-jevom skalom.

Tabela 6: Računanje sopstvenog vektora odgovarajućih sopstvenih vrednosti (brzina realizacije nabavke)

Alternative	Kategorija 1	Kategorija 2	Kategorija 3	Σ	W(Σ/3)
Kategorija 1	1	(5)	(3)	0,358	0,119
Kategorija 2	5	1	(3)	0,993	0,331
Kategorija 3	3	3	1	1,647	0,549

Tabela 7: Računanje sopstvenog vektora odgovarajućih sopstvenih vrednosti (kvalitet)

Alternative	Kategorija 1	Kategorija 2	Kategorija 3	Σ	W(Σ/3)
Kategorija 1	1	2	(4)	0,632	0,210
Kategorija 2	(2)	1	(4)	0,398	0,132
Kategorija 3	4	4	1	1,164	0,654

Tabela 8: Računanje sopstvenog vektora odgovarajućih sopstvenih vrednosti (stepen izvršenja nabavke)

Alternative	Kategorija 1	Kategorija 2	Kategorija 3	Σ	W(Σ/3)
Kategorija 1	1	(3)	3	0,780	0,260
Kategorija 2	3	1	5	1,899	0,633
Kategorija 3	(3)	(5)	1	0,317	0,654

Tabela 9: Računanje sopstvenog vektora odgovarajućih sopstvenih vrednosti (sigurnost isporuke)

Alternative	Kategorija 1	Kategorija 2	Kategorija 3	Σ	W(Σ/3)
Kategorija 1	1	(5)	(3)	0,317	0,105
Kategorija 2	5	1	3	1,899	0,633
Kategorija 3	3	(3)	1	0,780	0,260

Nakon formiranja tabela upoređivanja težina u parovima za svaku alternativu posebno je izvršeno računanje sopstvenog vektora. Na ovaj način smo dobili težine svake alternative bitne za određivanje rešenja problema.

3.2. Rešenje problema

Pošto se izvrši procena relativnih težina alternativa u odnosu na svaki kriterijum, pristupa se određivanju kategorije nabavki, koja ima najveću vrednost u odnosu na posmatrane kriterijume. Izbor kategorije se vrši na osnovu dobijenih sopstvenih vektora alternativa i prethodno dobijenih sopstvenih vektora kriterijuma. Ukupni prioriteti alternativa se dobijaju tako što se za svaku alternativu množi njena težina u okviru posmatranog kriterijuma redom i na kraju se dobijeni rezultati saberu.

Tabela 10: Izbor najpovoljnijeg ponuđača

	Brzina realizacije nabavki	Kvalitet	Stepen izvršenja nabavke	Sigurnaost isporuke (broj dana)	Ukupni prioriteti alternativa
	0,514	**0,115**	**0,065**	**0,304**	
Kategorija 1	0,119	0,210	0,260	0,105	0,139
Kategorija 2	0,331	0,132	0,633	0,633	0,418
Kategorija 3	0,549	0,654	0,105	0,260	0,442

Iz tabele 10 može se zaključiti da nakon sprovođenja postupka AHP metode, u istraživanju, redosled alternativa bi bio sledeći: "Kategorija 1" (14%), "Kategorija 2" (42%), "Kategorija 3" (44%), iz čega se vidi da u odnosu na zadate kriterijume "Kategorija 3", odnosno nabavke realizovane pregovaračkim postupkom sa objavljivanjem poziva za podnošenje ponuda u kojem elementi kriterijuma za ocenu ponuđača rok isporuke i obaveze u pogledu rezervnih delova imaju najveću vrednost.

Iako je u ovom modelu prisutna subjektivnost donosioca odluka, prilikom ocenjivanja relativnih težina kriterijuma i alternativa, ona može biti umanjena kombinovanjem više različitih metoda višekriterijumske optimizacije i poređenjem rešenja(Pamučar and Ćirović 2015, Pamučar *et al.* 2012). Primenom ovog modela u istraživanju je utvrđeno da su ponuđači kod kojih je najviše vrednovan rok isporuke i obaveze u pogledu rezervnih delova najvažniji za jednice Vojske Srbije, koje su realizovale operaciju pružanja pomoći civilnim vlastima nakon poplava 2014. Ove nabavke su imale i najveću vrednost u pogledu kriterijuma brzine realizacije, što je uticalo na adekvatnu popunu jedinica pokretnim sredstvima, kao jednim od najvažnijih elemenata sposobnosti raspoloživosti snaga. Istraživanjem je utvrđeno da su nabavke kod kojih je za ocenu ponuda korišćeno više kriterijuma bile brže realizovane.

4. ZAKLJUČAK

U postupku javnih nabavki značajno je odrediti sigurnost izvršenja zaključenog ugovora. Tako izvršenje ugovora podrazumeva da se poštuju svi ugovoreni elementi: rok, cena, vreme, predmet itd. što veoma često predstavlja problem ponuđačima, posebno kada su u pitanju nabavke čija je vrednost po nekoliko desetina milijardi dinara. Imajući to u vidu, različiti ekonomski subejkti, koji posluju u uslovima nesavršenog tržišta, bilo da je reč o monopolu ili oligopolu, mogu se pojaviti u ulozi ponuđača u postupcima nabavki. Analiza ponuđača, primenom kombinacije različitih kriterijuma pomaže u sagledavanju mogućnosti da se nabavka ne realizuje u skladu sa ugovorenim, što onemogućava zadovoljavanje iskazanih potreba jedinica Vojske Srbije. To dovodi do nemogućnosti dostizanja odgovarajućeg nivoa operativnih sposobnosti jedinica Vojske Srbije.

U radu je primenom AHP metode dokazanao da kriterijumi realizacije nabavki: rok isporuke i obaveze u pogledu rezervnih delova bili presudni elementi kriterijuma sigurnosti da u predviđenom roku ponuđač isporuči sredstva koja su predmet nabavke. Ralizacijom nabavki, koje su bile predmet istraživanja, utvrđeno je da su dobavljači koji su ispoštovali rok isporuke bili pouzdani i

sigurni, što je uticalo i na visok nivo sposobnosti pravovremene raspoloživosti snaga ovih jedinica u vidu adekvatne popune pokretnim sredstvima.

LITERATURA

[1] Žižić, M., Lovrić, M., Pavličić, D. (2003). Metodi statističke analize, Beograd: CID Ekonomski fakultet.

[2] Pamučar, D., Đorović, B., Božanić, D., Ćirović, G. (2012). Modification of the Dynamic Scale of Marks in Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Approach (ANP) through Application of Fuzzy Approac. Scientific Research and Essays, 7(1), 24-37.

[3] Pamučar, D., Ćirović, G.(2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). Expert Systems with Applications, Elsevier, 42, 3016-3028.

[4] Pavličić, D. (2010). Teorija odlučivanja, Beograd: CID Ekonomski fakultet.

[5] Saaty, T.(1980). The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw-Hill.

[6] Ćurčić, M. (2016). Budžetski deficit Republike Srbije. ODITOR, Centar za ekonomska i finansijska istraživanja, 2(2), 51-58.

[7] Čupić, M., Suknović, M. (2010). Odlučivanje, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[8] Štiglic, Dž. (2013). Ekonomija javnog sektora (prevedeno izdanje), Beograd: CID Ekonomski fakultet.

XLIV Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2017
Zlatibor, 25-28 Septembar 2017

PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE NA IZBOR DIZAJNA DRUGOG REDA GRADSKE TRIGONOMETRIJSKE MREŽE

APPLICATION OF MULTI - CRITERIA DECISION MAKING ON SECOND ORDER DESIGN SELECTION OF URBAN TRIGONOMETRIC NETWORK

STANISLAVA BOSIOČIĆ[1], MIODRAG KOSTIĆ[2], MARKO STANKOVIĆ[3]

[1] Geodetska tehnička škola, Beograd, stanislava98@gmail.com
[2] Vojska Srbije, Beograd, kmiodrag@ikomline.net
[3] Geodetska tehnička škola, Beograd, stankovic.d.marko@gmail.com

---

Rezime *Cilj projekta optimizacije mreže je uspostavljanje geodetske mreže sa što većom tačnošću, pouzdanošću i sa što manjim troškovima. Optimizacija projektovanja geodetskih mreža klasifikuje se u različite redove. Optimizacija drugog reda podrazumeva određivanje optimalnog plana opažanja u mreži. Pošto se u mreži mogu javiti opažanja različitih tipova, problem izbora se može rešiti primenom višekriterijumske optimizacije. U ovom radu je predložen izbor alternative optimalnog plana opažanja i izbor instrumenata merenja metodom VIKOR u skladu sa izabranim potrebama i zadatim kriterijumima.*

Ključne reči: *Dizajn drugog reda, gradska trigonometrijska mreža, višekriterijumsko odlučivanje, VIKOR.*

Abstrakt *The objective of the optimization network project is to establish a geodetic network with the highest accuracy, reliability and with as low costs as possible. The optimization of geodetic network design can be classified into different orders. Second-order design implies determining the optimum plan of observation in the network. Since observations of different types can occur in the network, the problem of choice can be solved by using multi-criteria decision making. In this paper, the alternative choice of optimal observation plan and the choice of measuring instruments by the VIKOR method is suggested according to the selected requirements and criteria set.*

Keywords: *Second-order design, urban trigonometric network, multi-criteria decision making, VIKOR.*

1. UVOD

U postupku optimizacije projektovanja geodetskih mreža, kada je geodetska mreža već konfigurisana, dizajnom drugog reda se određuje optimalni izbor opažanja, tačnost planiranih opažanja i vrši se izbor optimalne merne opreme, jer se u mreži mogu javiti opažanja različitih tipova. U radu se razmatra problem izbora merenih veličina (dužina i uglova), metode merenja i potrebnih instrumenata u novoprojektovanoj gradskoj trigonometrijskoj mreži Despotovca, u cilju dobijanja optimalne tačnosti projektovanih opažanja. Prikazano je rešenja problema dobijeno primenom metode višekriterijumske optimizacije VIKOR.

Prilikom projektovanja gradske trigonometrijske mreže Despotovac, korišćena je klasična koncepcija u projektovanju i realizaciji geodetskih mreža, a to je sistem prostih trouglova. Kasnije je model mreže, pojačan određenim dijagonalnim vezama što je doprinelo povećanju tačnosti i pouzdanosti mreže. U gradskoj trigonometrijskoj mreži Despotovac su merene dužine i opažani pravci. Kao metod merenja uglova korišćena je girusna metoda, a dužine su merene obostrano.

Uzimajući u obzir planiranu tačnost sa kojom je trebalo meriti određene veličine (dužine i uglove), vršio se izbor tipa i vrste instrumenata, ali u skladu sa trenutno raspoloživim. Proizvođač geodetskih instrumenata Leica totalne stanice proizvodi u više serija. Razlika između instrumenata u pojedinim serijama je u specijalizovanim poslovima koje mogu da obavljaju. Ekonomski je opravdana nabavke novijih instrumenta, ako upotreba instrumenta podrazumeva iskorišćenost svih njegovih modula i softvera za obradu podataka.

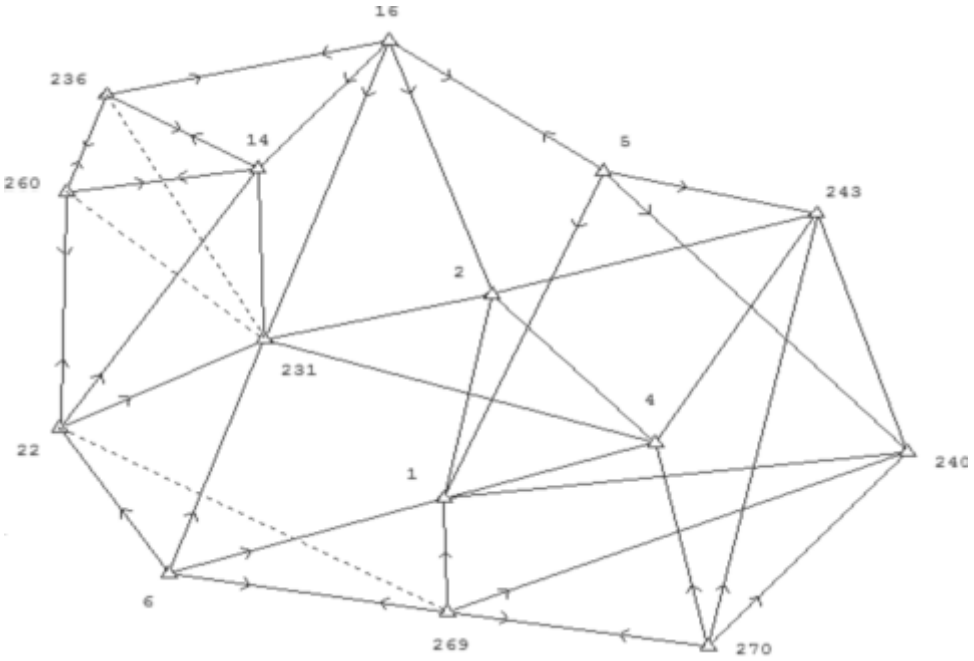
U radu se neće razmatrati kao jedna od alternativa metoda merenja GNSS sistemima, jer u gradskoj trigonometrijskoj mrezi Despotovac nema terenskih podataka merenja tim instrumentima.

2. GRADSKA TRIGONOMETRIJSKA MREŽA DESPOTOVAC

Gradska trigonometrijska mreža Despotovac (slika1) obuhvata šire područje građevinskog reona Despotovca, površine 1740ha. Na izbor položaja tačaka i trigonometrijskih strana uticali su zahtevi za gustinom mreže trigonometrijskih tačaka (po Pravilniku za triangulacione radove) i konfiguracija terena u smislu dostupnosti terena za stabilizaciju i dogledanje tačaka. Napravljen je projekat gradske trigonometrijske mreže i izvršena je stabilizacija novopostavljenih tačaka. Trigonometrijske tačke broj: 240, 243, 269, 270, 22, 231, 236 i 260 su tačke državne trigonometrijske mreže četvrtog reda, srez Despotovački (imaju oznaku /D4), a ostale tačke su novopostavljene (URL1).

Gradska trigonometrijska mreža je 2D – geodetska mreža. Koordinate tačaka su određene izravnanjem trigonometrijske mreže na osnovu merenja dužina trigonometrijskih strana. Na svim trigonometrijskim stranama dužine su merene obostrano, dva puta nezavisno, te su u izravnanju učestvovale po dve vrednosti dužine. Detaljnije o mreži i rezultatima izravnanja videti Ninkov (1996).

Dužine su merene elektronskom totalnom stanicom WILD TC1610, čija je deklarisana tačnost linearnih merenja σ_D = 3mm + 2ppm, a uglovnih σ_P=1,5" (Tuno, N *et al*. 2010). Pri srednjoj atmosferskoj vidljivosti (15km) instrument meri dužinu od 2000m na jednu prizmu, a 4000m na jedanaest prizmi. Kao alternativa predložena je automatizovana totalna stanica LEICA TCA2003, koja ima bolje perfomanse, ali je i skuplja. Tačnost merenja dužina ovim instrumentom je σ_D = 1mm + 1ppm, tačnost merenja uglova je σ_P=0,5". Domet merenja dužina je 2500m na jednu prizmu, a 3500m na tri prizme pri srednjim atmosferskim uslovima.



Slika 1: Gradska trigonometrijska mreža Despotovac

Osnovne karakteristike mreže su:

- broj trigonometrijskih tačaka u mreži je 15;
- broj trigonometrijskih strana u mreži je 34;
- dužine trigonometrijskih strana u mreži su od D_{min}= 764 m (TT 236 - TT260) do D_{max}=3295 m (TT243 - TT270).

3. VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE

Problem izbora merenih veličina (dužina i uglova), njihovog rasporeda u mreži kao i izbora mernih instrumenata se rešava tako što se predlažu alternativna rešenja, formiraju se kriterijumske funkcije i konačna odluka se donosi u postupku višekriterijumskog odlučivanja. Kriterijumi za vrednovanje alternativa su često konfliktni (na primer tačnost i ekonomičnost), a jedinice mere kriterijumskih funkcija različite (na primer mm i EUR), pa se varijante ne mogu upoređivati (Kosijer, 2014). Tada se izbor najpovoljnije varijante može izvršiti primenom višekriterijumskog odlučivanja.

Generisanje alternativa

U radu su definisane sledeće alternative:

A1 - merenje samo dužina,
A2 - merenje dužina i uglova WILD 0.5",
A3 - merenje dužina i uglova WILD 1",
A4 - merenje dužina i uglova LEICA 0.5".

Alternativa A1: Projektom mreže je predviđeno samo merenje dužina. U pitanju su 34 dužine trigonometrijskih strana. Definisana položajna tačnost koordinata trigonometrijskih tačaka je 3mm. Dužine su merene instrumentom WILD TC 1610.

Alternativa A2: Projektom mreže je predviđeno merenje dužina i uglova. U pitanju su 37 dužina i 33 pravca. Merene su 34 dužine trigonometrijskih strana i mreža je pojačana sa još 3 dijagonalne veze (D_{22-269}, $D_{231-260}$ i $D_{231-236}$). Definisana položajna tačnost koordinata trigonometrijskih tačaka je 3mm. Dužine su merene instrumentom WILD TC 1610. Pravci su opažani istim instrumentom, a tačnost pravca je 0.5". Merenje uglova se vrši u 6 girusa.

Alternativa A3: Projektom mreže je predviđeno merenje dužina i uglova. U pitanju su 37 dužina i 33 pravca. Merene su 34 dužine trigonometrijskih strana i mreža je pojačana sa još 3 dijagonalne veze. Definisana položajna tačnost koordinata trigonometrijskih tačaka je 5mm. Dužine su merene instrumentom WILD TC 1610. Pravci su opažani istim instrumentom, a tačnost pravca je 1". Merenje uglova se vrši u 3 girusa .

Alternativa A4: Projektom mreže je predviđeno merenje dužina i uglova. U pitanju su 37 dužina i 33 pravca. Merene su 34 dužine trigonometrijskih strana i mreža je pojačana sa još 3 dijagonalne veze. Definisana položajna tačnost koordinata trigonometrijskih tačaka je 3mm. Dužine su merene totalnom stanicom Leica TCA2003. Pravci su opažani istim instrumentom, a tačnost pravca je 0.5". Merenje uglova se vrši u 3 girusa.

Kriterijumske funkcije

Za ilustraciju primene metode VIKOR uzeto je pet pokazatelja za kriterijumske funkcije:

- f1 - vreme potrebno za izvođenje radova,
- f2 - troškovi izvođenja radova,
- f3 - lokalna unutrašnja pouzdanost mreže,
- f4 - položajna tačnost koordinata tačaka,
- f5 - homogenost i izotropija mreže.

Vrednovanje alternativa

Vrednovanje alternativa predstavlja određivanje vrednosti kriterijumskih funkcija za sve alternative.

Vreme trajanja radova (f1) se odnosi na vreme na terenu potrebno da se izmere dužine i opažaju pravci. Na svakoj stanici (ima ih 15) trebalo je izvršiti centrisanje instrumenta i izmeriti prosečno tri dužine. Pravci su opažani sa 10 stanica, u 3 girusa u A1, A3 i A4, a u 6 girusa u A2. Pri prelasku sa jedne tačke na drugu uzeta je prosečna dužina između trigonometrijskih tačaka oko 2 km.Vreme potrebno za kancelarijske radove (obrada podataka na računaru) nije uzeto u razmatranje. Vreme trajanja pojedinih radova i ukupno prikazano je u tabeli 1.

Tabela 1: Utrošak vremena za terenske radove

Vrste poslova	A1	A2	A3	A4
Centrisanje instrumenta	75 min.	75 min.	75 min.	15 min.
Merenje dužina	45 min.	45 min.	45 min.	15 min.
Opažanje pravaca	-	180 min.	90 min.	20 min.
Prelazak sa jedne tačke na drugu	450 min.	450 min.	450 min.	450 min.
Ukupno	570 min.	750 min.	660 min.	500 min.

Troškovi izvođenja radova (f2) koji obuhvataju troškove radne snage, instrumentarija i opreme za svaku alternativu se mogu izračunati po formuli:

$$f2_j = C1 \cdot h_j + C2_j \qquad j \text{ - indeks za alternativu } (j = 1, 2, 3 \text{ i } 4) \tag{1}$$

C1 ..... troškovi radne snage - bruto l. d. za 1 radni sat (jednako u svim alternativama),
h_j ..... vreme potrebno za izvođenje terenskih radova (u satima),
$C2_j$ ..... troškovi kupovine instrumenata (totalne stanice).

Cena jednog radnog sata geodetskog stručnjaka je 20 eura. Za svaku alternativu su troškovi izračunati i prikazani u tabeli 4. Troškovi zajednički za sve alternative nisu razmatrani.

Lokalna unutrašnja pouzdanost mreže (f3) je jedan od pokazatelja kvaliteta geodetske mreže. Pouzdanost mreže (lokalna i globalna) može biti unutrašnja i spoljašnja (Ninkov, 1989). Ovde je značajna unutrašnja pouzdanost, koja predstavlja mogućnost geometrije mreže da se grube greške u opažanjima identifikuju statističkim testovima. Kao vrednosti treće kriterijumske funkcije odabrana je srednja vrednost koeficijenta unutrašnje pouzdanosti k_{oi}. Vrednosti koeficijenata za svaku alternativu date su u tabeli 2. Vrednosti k za alternative A2, A3 i A4 su iste jer je isti plan opažanja u tim alternativama.

Tabela 2: Mera unutrašnje pouzdanosti

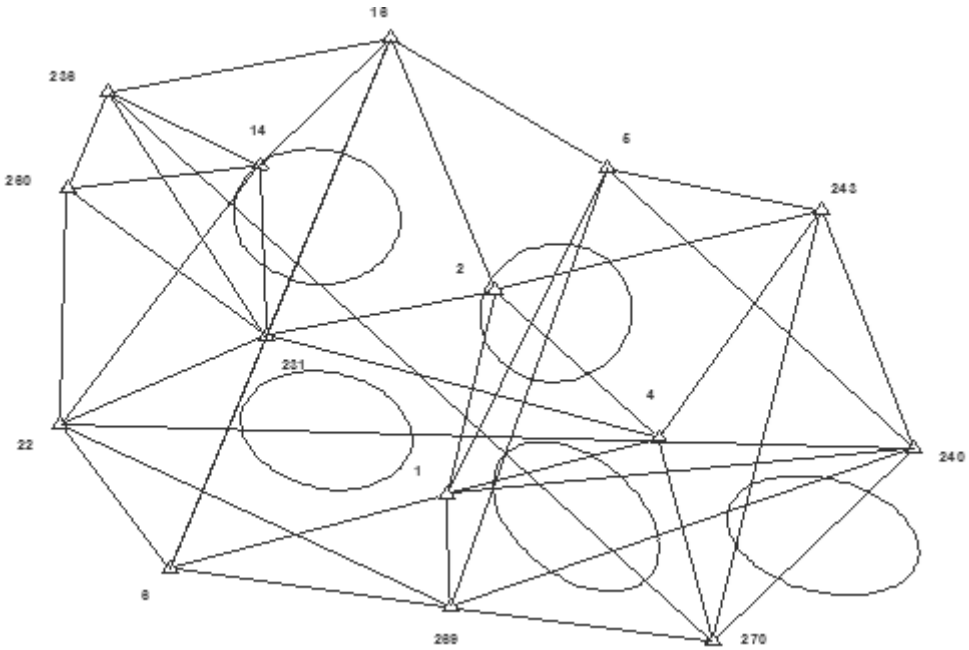
mera unutrašnje pouzdanosti	A1	A2	A3	A4
k_{sri}	12,1	6,7	6,7	6,7
broj merenja	34	70	70	70

Za vrednost četvrte kriterijumske funkcije (f4) uzeta je vrednost **pokazatelja položajne tačnosti (σ_P)** one trigonometrijske tačke koja ima najlošiju položajnu tačnost. Položajna tačnost (SIGMA P) je data za svaku tačku za sve alternative u tabeli 3.

Tabela 3: Položajna tačnost trigonometrijskih tačaka u alternativama A1, A2, A3 i A4

Tačka	SIGMA P - A1	SIGMA P - A2	SIGMA P - A3	SIGMA P - A4
1	0.003081	0.002924	0.004873	0.002924
2	0.002534	0.003145	0.005242	0.003145
4	0.002408	0.002925	0.004876	0.002925
5	0.003190	0.002885	0.004809	0.002885
6	0.002501	0.003013	0.005023	0.003013
22	0.002590	0.002813	0.004689	0.002813
14	0.003018	0.003115	0.005192	0.003115
16	0.002307	0.002738	0.004564	0.002738
231	0.002457	0.002831	0.004719	0.002831
236	0.003106	**0.003213**	**0.005356**	**0.003213**
240	0.002259	0.002943	0.004906	0.002943
243	0.002566	0.003062	0.005104	0.003062
260	**0.003616**	0.003012	0.005020	0.003012
269	0.003199	0.002782	0.004637	0.002782
270	0.002721	0.002987	0.004979	0.002987

Za kvalitet geodetske mreže je vazna osobina **homogenosti i izotropije mreže (f5)**. Kao pokazatelji kriterijuma homogenosti i izotropije mreže uzete su relativne elipse grešaka, sa svojim poluosovinama A i B, za izabranih pet dijagonala u trigonometrijskoj mreži (slika 2).



Slika 2: Realizacione relativne elipse grešaka

Za svaku alternativu postoje postulirane (zadate projektom) i realizacione elipse grešaka. Vrednost pete kriterijumske funkcije je suma odstupanja vrednosti poluosovina A i B, od njihovih postuliranih vrednosti. Detaljnije o računanju mera pouzdanosti mreže, položajne tačnosti koordinata, homogenosti i izotropije mreže videti Ninkov (1996).

Vrednosti kriterijumskih funkcija $|f_{ij}|_{n \times J}$ za sve alternative, date su u tabeli 4.

Tabela 4: Vrednosti kriterijumskih funkcija

Naziv kriterijumske funkcije	jedinica mere	ekstrem	A1	A2	A3	A4
f1: Vreme trajanja radova	min	min	570	750	660	500
f2: Troškovi izvođenja radova	EUR	min	1690	1750	1720	9167
f3: Unutrašnja pouzdanost mreže	neimenovan broj	min	12,1	6,7	6,7	6,7
f4: Položajna tačnost	mm	min	3,6	3,2	5,3	3,2
f5: Homogenost i izotropija mreže	mm	min	8,1	3,9	6,2	3,9

Težine kriterijuma

Težine kriterijuma ω_i, i = 1, ... , n. predstavljaju mere za uvođenje relativne značajnosti kriterijuma. Predlažu se ″scenarija″ donošenja konačne odluke i za svaki scenario zadaju se različite kombinacije vrednosti težina, koje se usvajaju kao ″ulazne″ za metodu VIKOR (Opricović, 1998). Određivanje težina bi trebalo poveriti iskusnom inženjeru.

Razmatrana su pet scenarija sa pet kombinacija vrednosti težinskih koeficijenata kojima se simulira preferencija donosioca odluke i rezultati su prikazani u tabeli 5.

Scenario 1 ("isti značaj"): svi posebni ciljevi imaju istu važnost, tako da imaju iste težinske koeficijente.

Scenario 2 ("tačnost"): prednost se daje aspektu tačnosti, tj. kriterijumskoj funkciji f4 (položajna tačnost).

Scenario 3 ("brži radovi"): prednost se daje brzini radova, tako da je najveća vrednost težinskih koeficijenta dodeljena funkciji f1 (trajanje radova), a da se ne bi zanemarila tačnost velika težina je data i funkciji f4 (položajna tačnost).

Scenario 4 ("finansijski interes"): prednost se daje ekonomskom interesu, tj. najmanjoj ceni koštanja tako da je najveća vrednost težinskih koeficijenata dodeljena funkciji f2 (minimalni troškovi).

Scenario 5 ("tačnost i pouzdanost"): prednost se daje aspektima tačnosti i pouzdanosti, tako da su najveće vrednosti težina dodeljene funkcijama f3 i f4.

Tabela 5: Vrednosti težinskih koeficijenata za predložena scenarija

Scenariji		Težine kriterijuma					Normalizovane težine kriterijuma				
		ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
Scenario 1	"isti značaj"	1	1	1	1	1	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Scenario 2	"tačnost"	1	1	1	3	1	0.143	0.143	0.143	0.429	0.143
Scenario 3	"brži radovi"	3	1	1	2	1	0.375	0.125	0.125	0.25	0.125
Scenario 4	"finansijski interes"	1	3	1	2	1	0.125	0.375	0.125	0.25	0.125
Scenario 5	"tačnost i pouzdanost"	1	1	2	2	1	0.143	0.143	0.286	0.286	0.143

4. REZULTATI RANGIRANJA PO METODI VIKOR

Metodom VIKOR se do kompromisnog rešenja za donošenje konačne odluke dolazi na osnovu rangiranja alternativa.

Rangiranje se vrši sortiranjem alternativa prema vrednostima mere rastojanja Q_j varijanti od idelnog rešenja. Za računanje Q_j videti Opricović (1998). Najbolja alternativa je ona za koju je vrednost mere najmanja i ona zauzima prvo mesto na rang listi i uzima se kao rešenje, što je prikazano u tabeli 6.

Tabela 6: Rangiranje alternativa metodom VIKOR u zavisnosti od scenarija po kompromisnoj rang listi Q

Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
A 4	0.000	A 4	0.000	A 4	0.000	A 2	0.000	A 4	0.000
A 2	0.005	A 2	0.001	A 1	0.320	A 1	0.376	A 2	0.002
A 3	0.810	A 1	0.290	A 3	0.750	A 3	0.750	A 3	0.910
A 1	1.000	A 3	1.000	A 2	0.789	A 4	0.954	A 1	1.000

Metoda VIKOR predlaže kao **kompromisno rešenje** višekriterijumski najbolju alternativu (za date težine ω_i) onu koja je na prvoj poziciji na kompromisnoj rang listi samo ukoliko ima i ″dovoljnu prednost″ nad alternativom sa sledeće pozicije (uslov U_1). Ta prednost za slučajeve sa malim brojem alternativa iznosi 0,25 (Opricović, 1998). Ukoliko prva alternativa sa kompromisne rang liste ne ispunjava uslov U_1 smatra se da

ona nije ″dovoljno″ bolja od alternative sa druge pozicije. U takvim slučajevima metodom VIKOR se formira **skup kompromisnih rešenja** u koji ulaze prva i alternative iza nje. Analizom rezultata iz izlazne datoteke programa VIKOR, dobijena kompromisna rešenja za svaki scenario su prikazana u tabeli 7.

Tabela 7: Kompromisno rešenje u zavisnosti od scenarija

Scenario	Rangiranje alternativa	Prednost prve alternative u odnosu na drugu alternativu	Rešenje za date težinske koeficijente
Scenario 1	**A4, A2**, A3, A1	Prednost (A4) = 0,5%	skup kompromisnih rešenja A4,A2
Scenario 2	**A4, A2**, A1, A3	Prednost (A4) = 0,1%	skup kompromisnih rešenja A4,A2
Scenario 3	**A4**, A1, A3, A2	Prednost (A4) = 32%	kompromisno rešenje A4
Scenario 4	**A2**, A1, A3, A4	Prednost (A2) = 37%	kompromisno rešenje A2
Scenario 5	**A4, A2**, A3, A1	Prednost (A4) = 0,2%	skup kompromisnih rešenja A4,A2

Alternativa A2 je kompromisno rešenje za IV scenario (ima prednost 37%). Za I, II i V scenario A2 je u skupu kompromisnih rešenja pri čemu je A4 prva, ali su A4 i A2 vrlo "bliske". A4 ima značajnu prednost 32%, samo u slučaju kada je veći značaj dat brzini izvođenja radova (scenario III). Na osnovu rezultata dobijenih VIKOR metodom, kompromisno rešenje za donošenje konačne odluke izbora optimalnog rešenja dizajna drugog reda trigonometrijske mreže Despotovac, je skup kompromisnih rešenja alternativa A4 i A2.

5. ZAKLJUČAK

Predložena metoda VIKOR omogućava rešenje problema izbora dizajna drugog reda geodetske mreže. Za zadati raspored tačaka trigonometrijske mreže Despotovac, predložena su 4 varijantna rešenja raspodele opažačkih poslova u mreži u kojima se koristio različit merni instrument, na različite načine, merene su različite veličine, različitim metodama merenja. Varijante su vrednovane i međusobno upoređivane na osnovu više kriterijuma (vreme trajanja radova, troškovi, mere kvaliteta geodetskih mreža). Nijedna varijanta nije dala najbolje rezultate po svim kriterijumima vrednovanja. Analizirano je pet mogućih scenarija rangiranja. U postupku višekriterijumske optimizacije izvršeno je rangiranje alternativa po svim scenarijima. Na osnovu rang listi je predložena najpovoljnija konačna alternativa u skladu sa usvojenim kriterijumima. U optimizaciji projektovanja trigonometrijskih mreža najveća težina je data kriterijumu tačnosti. Kriterijum trajanja radova je imao mali značaj, jer rok završetka radova nije bio povezan sa neposrednim početkom nekih drugih radova. Ako bi se geodetskim radovima uspostavljala lokalna geodetske mreže koja bi se koristila u okviru izvođenja nekih građevinskih radova (pri izgradnji saobraćajnica, železničkih pruga i dr.), tada bi vremenski kriterijum imao veću težinu. Velika težina je data i kriterijumu "manji troškovi" uz poštovanje kriterijuma tačnosti.

Uključivanjem dodatnih kriterijuma postigla bi se veća pouzdanost donete odluke o izboru optimalnog alternativnog rešenja. Koje će od ovih varijantnih rešenja izabrati donosioci odluke, zavisiće od ponovljenog rangiranja alternativa iz skupa kompromisnog rešenja

LITERATURA

[1] Kosijer, M. (2014). Primena metode VIKOR u planiranju rekonstrukcije železničke pruge. Zbornik radova XLI Simpozijuma o operacionim istraživanjima. Divčibare, septembar 2014, 575-580.

[2] Ninkov, S. (1996). Optimizacija dizajna drugog reda gradske trigonometrijske mreže Despotovac. Diplomski rad. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.

[3] Ninkov, T. (1989). Optimizacija projektovanja geodetskih mreža. Građevinski fakultet, Beograd.

[4] Opricović, S. (1998). Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu. Građevinski fakultet, Beograd.

[5] Tuno, N., Mulahusić, A., Marjetič A., Kogoj D. (2010). Pregled razvoja elektronskih tahimetrov Leica Geosystems. Geodetski vestnik 54/4, 643-660.

[6] URL 1: http://www.geomreze.rgz.gov.rs/ datum pristupa [11.07.2017.]